

Controlo de Movimento em Mesa Hidráulica Móvel

Manuel José Ferreira Ribeiro

Relatório Final Dissertação

Orientador: Professor Doutor Francisco J. T. Freitas



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Opção de Automação

Outubro de 2011

Aos meus pais, irmão e à minha namorada

Resumo

Este relatório retrata a terceira fase de desenvolvimento de um protótipo de um robô móvel com elevada flexibilidade de movimentos para circulação essencialmente em ambientes interiores.

Nas duas primeiras fases de desenvolvimento foi construído um veículo acionado hidraulicamente, com pernas e rodas, com o objetivo de ser capaz de se deslocar sobre pavimentos, bem como ultrapassar barreiras arquitetónicas, como por exemplo, degraus. Foi construído ainda um sistema de direção comandável e aumentada a capacidade de transporte de carga do protótipo.

Nesta terceira fase de desenvolvimento, achou-se por bem continuar a evolução global do veículo e para tal, foi melhorado o sistema elétrico e foi ainda implementado um modo de condução autónoma. A escolha do sistema de guiamento acresceu ao veículo a instalação de mais meios de sensorização.

Foi desenvolvido também um novo *software* de controlo que permitiu calibrar o veículo, controlar os atuadores por referências de posição, controlar a altura e inclinação da mesa, e ainda conduzir o veículo por condução autónoma ou remota.

Por fim, foi elaborada uma interface gráfica num sistema de controlo e aquisição de dados (SCADA), que permite ao operador o comando remoto do veículo através do computador, sendo a comunicação efetuada por *bluetooth*.

Motion Control in Mobile Hydraulic Bench

Abstract

This report depicts the third stage of the development of a prototype mobile robot with high flexibility of movement for movement mainly indoors.

During the first two phases of development a hydraulically driven vehicle with legs and wheels was built. It was intended to travel along pavements, as well as overcoming some architectural barriers, such as stairs or slopes. A special steering system was implemented and some optimization of the design was made in order to increase its load carrying capacity.

On this third phase of the development, it was found adequate to continue the global development of the vehicle according to the original specification. To this end, the electrical and monitoring system was upgraded and was yet implemented a special *software* functional mode for driving autonomously. The choice of the guidance system adds to the installation of more vehicle sensing means.

It was also developed new *software* that allowed special controlled procedures to calibrate the vehicle and to control all linear actuators in closed feedback position – Controlling the height and tilting of the table was achieved. In the end the vehicle incorporated remotely controlled driving as well as autonomous driving.

Finally, an easy to use graphical interface was developed in order to allow a user to access a system monitoring and data acquisition, allowing the operator to achieve the remote control of the vehicle via computer. Communication was performed by *bluetooth*.

Agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Jorge Teixeira de Freitas, pela compreensão, acompanhamento e partilha de conhecimentos ao longo do trabalho.

Agradeço também ao Engenheiro Tiago Teixeira pelos seus esclarecimentos e ajuda na utilização de algum *software*.

Agradeço ao Sr. Joaquim Almeida, técnico de laboratório, a sua preciosa ajuda na elaboração de algumas peças necessárias.

Agradeço aos meus colegas por todo o companheirismo e cooperação.

Quero agradecer à Marta, minha namorada, que sempre me apoiou e incentivou.

Finalmente, agradeço aos meus pais, a sua preciosa ajuda na conclusão de mais uma etapa da minha vida.

Índice de Conteúdos

Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Conteúdos	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvii
1 Introdução Geral e Objetivos.....	1
1.1 Breve descrição do trabalho anterior	2
1.2 Considerações sobre o trabalho anterior.....	5
1.3 Objetivos genéricos do presente trabalho	6
1.4 Organização e temas abordados no presente relatório.....	7
2 Análise de Exemplos de Robôs Móveis	9
2.1 Sistemas de guiamento	10
2.2 Conclusão	14
3 Análise Preliminar e Considerações	15
3.1 Estrutura Mecânica e Acionamentos	16
3.2 Sistema de Direção	17
3.3 Sistema Hidráulico	20
3.4 Sensorização	23
3.5 Sistema Elétrico e Hardware	25
4 Alterações e Funcionalidades Implementadas.....	31
4.1 Sensores Óticos	32
4.2 Suporte para os Sensores	36
4.3 Sistema Elétrico e Hardware	40

5	<i>Software</i> Desenvolvido	45
5.1	Comunicação.....	46
5.2	<i>Software</i> de Controlo	47
5.3	<i>Software</i> de Supervisão	56
6	Testes Efetuados e Procedimentos	79
6.1	Processo de Calibração	80
6.2	Processo de Condução Autónoma.....	86
7	Conclusões	89
7.1	Trabalhos Futuros	90
8	Bibliografia	91
	ANEXO A – Desenhos de Construção	93
	ANEXO B – Tabela de Ligações ao Autómato	99
	ANEXO C – Esquemas Elétricos.....	103

Índice de Figuras

Fig. 1.1 - Veículo Hidráulico (1ª versão – 2006/2007)	2
Fig. 1.2 - Mesa Hidráulica Móvel (2ª versão – 2008/2009)	4
Fig. 2.1 - AGV filo-guiado	10
Fig. 2.2 - AGV com sistema baseado em sensores óticos	11
Fig. 2.3 - Solução baseada em triangulação laser.....	12
Fig. 2.4 - Solução de localização por giroscópio.....	13
Fig. 3.1 - Modelo 3D da Mesa Hidráulica Móvel	16
Fig. 3.2 - Sistema de direção articulada do veículo.....	17
Fig. 3.3 - Sistema de acionamento da direção	17
Fig. 3.4 - Raio de curvatura da Mesa Hidráulica Móvel	18
Fig. 3.5 - Exemplo de uma central hidráulica compacta	20
Fig. 3.6 - Sub-circuito hidráulico de acionamento de uma das pernas.....	20
Fig. 3.7 - Sub-circuito de contrapressão	21
Fig. 3.8 - Sub-circuito da direcção	22
Fig. 3.9 - Inclínómetro SCA121T.....	23
Fig. 3.10 - Transdutor de posição <i>Micro-Epsilon MK30</i>	23
Fig. 3.11 - Transdutor de posição LTH100S da GEFTRAN	24
Fig. 3.12 - Transdutor de pressão TP3BE53R.....	24
Fig. 3.13 - Autómato e os módulos de expansão.....	25
Fig. 3.14 - Variador de frequência Varispeed-606PC3	26
Fig. 3.15 - Sistema de alimentação elétrica	28
Fig. 3.16 - Quadro elétrico do veículo (versão anterior)	29
Fig. 4.1 - Sensor Ótico XUB0BPSNM12.....	33
Fig. 4.2 - Fonte de Alimentação	33
Fig. 4.3 - Sensor no suporte para calibração.....	34

Fig. 4.4 - Modelação dos apoios dos sensores	37
Fig. 4.5 - Montagem provisória no veículo.....	37
Fig. 4.6 - Testes ao sensor.....	38
Fig. 4.7 - Suporte final para os sensores	38
Fig. 4.8 - Comportamento do suporte para recuo e avanço máximo da articulação	39
Fig. 4.9 - Fonte de Alimentação Instalada	40
Fig. 4.10 - Bornes a substituir	41
Fig. 4.11 - Quadro Elétrico	42
Fig. 4.12 - Sistema de alimentação final	43
Fig. 5.1 - Programação <i>Ladder</i> no <i>TwidoSuite</i>	47
Fig. 5.2 - <i>Grafcet</i> de controlo do processo de calibração	50
Fig. 5.3 - <i>Grafcet</i> de controlo da altura média da mesa	51
Fig. 5.4 - <i>Grafcet</i> de controlo da inclinação da mesa	52
Fig. 5.5 - Limitações com a inclinação lateral máxima	52
Fig. 5.6 - <i>Grafcet</i> de controlo dos motores hidráulicos	53
Fig. 5.7 - <i>Grafcet</i> de controlo do modo de condução autónoma.....	54
Fig. 5.8 - Configuração dos parâmetros iniciais	56
Fig. 5.9 - Configuração do dispositivo I/O no Vijeo Citect.....	57
Fig. 5.10 - Página de Calibração da aplicação SCADA.....	58
Fig. 5.11 – “Página de Controlo Manual” da aplicação SCADA	60
Fig. 5.12 – “Página de Condução” da aplicação SCADA	62
Fig. 5.13 - Página de Condução – “Modo de Condução Manual”	64
Fig. 5.14 - Página de Condução – “Modo de Condução Remota”	64
Fig. 5.15 - Página de Condução – “Modo de Condução Autónoma”	65
Fig. 5.16 - Página do Resumo de Alarmes.....	66
Fig. 5.17 - Página de Gráficos.....	67
Fig. 5.18 - Configuração de uma variável digital	67

Fig. 5.19 - Configuração de uma variável analógica.....	68
Fig. 5.20 - Configuração das <i>Tabs</i> no <i>Vijeo Citect</i>	69
Fig. 5.21 - Configuração dos Botões no <i>Vijeo Citect - Down</i>	69
Fig. 5.22 - Configuração dos Botões no <i>Vijeo Citect - Up</i>	70
Fig. 5.23 - Configuração de um <i>Slider</i> Vertical no <i>Vijeo Citect</i>	70
Fig. 5.24 - Configuração de um <i>Slider</i> Horizontal no <i>Vijeo Citect</i>	71
Fig. 5.25 - Configuração de um <i>Slider</i> de Rotação no <i>Vijeo Citect</i>	71
Fig. 5.26 - Configuração da Carga das Baterias no <i>Vijeo Citect</i>	72
Fig. 5.27 - Configuração das caixas de texto no <i>Vijeo Citect</i>	72
Fig. 5.28 - Rotina <i>Cicode</i> - Inclinação Transversal e Lateral.....	73
Fig. 5.29 - Rotina <i>Cicode</i> - Direção	73
Fig. 5.30 - Rotina <i>Cicode</i> - Ligação PC-PLC.....	74
Fig. 5.31 - Rotina <i>Cicode</i> - Propriedades dos Gráficos	74
Fig. 5.32 - Configuração de um Alarme Digital no <i>Vijeo Citect</i>	75
Fig. 5.33 - Configuração de um Alarme Analógico no <i>Vijeo Citect</i>	76
Fig. 5.34 - Configuração da Categoria de Alarmes no <i>Vijeo Citect</i>	76
Fig. 6.1 - Calibração dos transdutores dos cilindros de elevação (limite superior).....	81
Fig. 6.2 - Descida da mesa hidráulica controlada pelo operador.....	81
Fig. 6.3 - Calibração do transdutor do cilindro de elevação (limite inferior).....	82
Fig. 6.4 - Calibração do transdutor do cilindro da articulação (limite superior)	82
Fig. 6.5 - Calibração do transdutor do cilindro da articulação (limite inferior)	83
Fig. 6.6 - Descida até contacto com o solo.....	83
Fig. 6.7 - Calibração do transdutor da direção (limite máximo esquerdo).....	84
Fig. 6.8 - Calibração do transdutor da direção (limite máximo direito).....	84
Fig. 6.9 - Calibração do transdutor da direção (ajuste manual do valor “zero”).....	85
Fig. 6.10 – Veículo a seguir um percurso reto	86
Fig. 6.11 - Veículo a curvar à direita.....	87

Fig. 6.12 – Aproximação do ponto de paragem do veículo	88
--	----

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Funções dos vários módulos do autómato.....	26
Tabela 2 - Funções na Página de Calibração (identificação dos campos).....	59
Tabela 3 - Funções na “Página de Controlo Manual”	61
Tabela 4 - Funções na “Página de Condução”	63
Tabela 5 - Cores utilizadas no Resumo de Alarmes	66
Tabela 6 – Distribuição dos Sensores no protótipo	87

1 Introdução Geral e Objetivos

Os robôs podem ter aspetos, dimensões e aplicações muito diferentes das clássicas aplicações industriais. Dependentemente do meio onde operam, nos robôs móveis terrestres a locomoção é geralmente assegurada por rodas, patas, lagartas, ou combinações destas, como por exemplo, rodas e patas.

Os robôs móveis podem ser concebidos para se moverem exclusivamente sobre superfícies planas, ou então serem concebidos para ambientes externos, caracterizados por irregularidades diversas em que os robôs têm que demonstrar capacidade para vencer declives elevados, ou mesmo degraus, o que exige estruturas articuladas de rodas, lagartas ou patas.

Com o desenvolvimento da robótica e a introdução de sistemas sensoriais e de visão os sistemas móveis tornaram-se cada vez mais autónomos. Essa autonomia e o seu método de condução estão diretamente relacionados com os sistemas de guiamento existentes.

Pretende-se neste trabalho associar a mobilidade e a flexibilidade de uma “Mesa Hidráulica Móvel” protótipo, dotada de rodas e patas, à autonomia e aos sistemas de guiamento aplicados em veículos conduzidos autonomamente.

Este relatório final pretende retratar a terceira fase de desenvolvimento da “Mesa Hidráulica Móvel”, concebida no âmbito da disciplina de Dissertação, da opção de Automação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Realizado no segundo semestre de 2009/10, este projeto contou com a orientação do Professor Francisco Freitas.

Deseja-se nesta monografia analisar as etapas de desenvolvimento já ocorridas deste veículo, propor e implementar algumas melhorias próprias e potenciar as suas qualidades dotando-o de mais capacidades funcionais, nomeadamente na condução autónoma.

1.1 Breve descrição do trabalho anterior

Nesta secção será feita uma breve descrição das etapas anteriores de desenvolvimento do veículo. Tendo em conta que este constitui a terceira etapa de evolução do protótipo, será feito um breve relato do seu propósito, de todo o seu progresso até ao presente e serão tecidos alguns comentários.

1.1.1 Primeira fase de desenvolvimento

O protótipo foi construído de raiz no ano letivo de 2006/07 pelo aluno André Martins na disciplina de Laboratórios de Automação da Licenciatura em Engenharia Mecânica (Teixeira 2009). Foi criado com o pressuposto de ser um veículo inovador para fins demonstrativos, pois pretendia-se combinar o melhor da robótica móvel, ou seja, queria-se juntar a mobilidade dos “robôs com rodas” e a flexibilidade para ultrapassar obstáculos dos “robôs com pernas”.

Seria essencialmente para circulação em ambientes interiores, e entre as suas principais características estariam a capacidade de manter a “horizontalidade” mesmo em superfícies inclinadas, a capacidade de vencer obstáculos e ainda a capacidade de transporte e elevação de carga.

Com esse propósito foi construído um protótipo, como se pode observar na Fig. 1.1.



Fig. 1.1 - Veículo Hidráulico (1ª versão – 2006/2007)

Para o veículo foram escolhidos acionamentos hidráulicos por serem mais compactos, por terem maior capacidade de força, e conseguirem desenvolver com acionamento direto binários elevados mesmo para baixas velocidades de rotação.

Este foi construído com pernas duplamente articuladas, comandadas individualmente, e com rodas nas extremidades, com a possibilidade de os motores serem acionados e frenados individualmente.

De modo a realizar movimentos controlados e precisos foram incluídos vários sensores de medição, para permitir ler a posição de cada um dos atuadores, e um inclinómetro com dois graus de liberdade para realizar a medição da inclinação da mesa.

O controlo dos múltiplos movimentos elementares foi feito através de um micro autómato programável de características industriais, o *Twido* da *Schneider Electric*.

Ficou ainda possível variar a inclinação e a altura do chassis do veículo.

1.1.2 Segunda fase de desenvolvimento

Entretanto o veículo passou a ser objeto de trabalho do projeto de fim de curso do aluno Tiago Teixeira, realizado no 2º semestre do ano letivo de 2008/09 (Teixeira 2009). Foram realizadas diversas melhorias no veículo, mas sempre caminhando no sentido de cumprir os objetivos globais e iniciais para o protótipo.

Na primeira versão do veículo identificaram-se alguns pontos que mereciam uma melhoria significativa ao nível do aumento de capacidades utilitárias, já que as capacidades estruturais de base tinham sido mostradas adequadas. Assim, foi libertado totalmente o espaço superior da mesa do veículo, para o destinar exclusivamente para o transporte de carga. Foi, ainda, duplicada essa área disponível, com a construção de uma segunda mesa. Deste modo, os sistemas, hidráulico e elétrico, foram compactados e instalados por baixo dessas mesmas mesas, como se pode ver na Fig. 1.2.

Este esforço de compactação permitiu que o veículo ficasse com menor peso próprio e, consequentemente, com mais capacidade de carga, tendo sido desenhados novos blocos hidráulicos em liga de alumínio, foram também substituídas as válvulas convencionais industriais originalmente utilizadas por válvulas mais leves de roscar e escolhida uma nova central hidráulica bastante mais compacta.

Foi implementado um sistema de direção por articulação central, semelhante a um *dumper*, sendo assim adicionado ao veículo capacidade de mudar de direção, deixando de estar limitado, como na primeira versão, a andar sempre na mesma direção.

Foram adicionados sensores de pressão a cada perna de modo a ser possível determinar a carga a que cada perna está sujeita, sendo esta, também, uma maneira de saber quando o veículo tem alguma perna em suspensão no ar.



Fig. 1.2 - Mesa Hidráulica Móvel (2ª versão – 2008/2009)

Foi melhorado o controlo do protótipo, quer com alterações ao programa do autómato, quer com a implementação de um sistema de controlo e aquisição de dados (SCADA) que proporcionou uma interface mais agradável ao utilizador para o comando remoto do veículo. Ficou assim a ser possível comandar os diversos movimentos do veículo manualmente, e ainda comandar a horizontalidade da mesa, nomeadamente assegurá-la automaticamente. Na aplicação SCADA, foi ainda construída uma ferramenta para dar a possibilidade de ajudar na calibração dos diversos sensores de medição bem como enviar vários alertas com mensagens para o operador.

1.2 Considerações sobre o trabalho anterior

Com a finalização da 2ª fase de desenvolvimento, pode-se afirmar com naturalidade que o veículo é uma plataforma de desenvolvimento interessante e com potencial de desenvolvimento continuado.

O protótipo é capaz de se mover para trás e para a frente sobre superfícies planas, mesmo que inclinadas, já que dispõe de capacidade de tração e frenagem, dispondo de uma velocidade máxima de cerca de 5 km/h.

O protótipo é capaz de mudar de direção, dispondo de um raio de curvatura limitado a $\pm 5,8$ m.

O protótipo é capaz de subir e descer a sua mesa superior, desde um nível mínimo de 600 mm até um nível máximo de 1060 mm, e é dotado de uma capacidade de carga líquida de 100 kg.

O protótipo é, ainda, capaz de levantar individualmente cada perna e manter a horizontalidade da mesa automaticamente mesmo em terreno desnivelado.

Há ainda a capacidade de, travando os motores hidráulicos individualmente, permitir que a locomoção do veículo seja feita pelas articulações das pernas, mas esta característica ainda não foi implementada, tal como o veículo está ainda incapaz de ultrapassar obstáculos caminhando.

O veículo possui baterias que lhe dão uma autonomia de energia adequada e tem também um sistema de comunicação por *bluetooth* para possibilitar o comando remoto por operador, o que lhe confere bastante versatilidade.

No entanto, não existe ainda a possibilidade de o veículo se conduzir autonomamente, pois não foi implementado nenhum sistema de guiamento, nem sensorização para esse efeito.

Através da aplicação em SCADA é possível controlar remotamente todos os movimentos individuais do veículo, bem como ter uma leitura de todos os seus transdutores, saber a carga restante das baterias e aceder aos alertas, de um modo gráfico prático, simples e intuitivo.

1.3 Objetivos genéricos do presente trabalho

Parte-se para este trabalho com o intuito de manter todos os objetivos globais inalteráveis e prosseguir com a evolução do veículo.

Pretende-se assim que este mantenha as mesmas características inovadoras, como a manutenção da horizontalidade mesmo em superfícies inclinadas, que a altura da mesa seja regulável e seja capaz de transpor pequenos obstáculos.

Pretende-se realizar uma análise crítica ao veículo para que se possam identificar alguns aspectos capazes de ser melhorados, para assim se obter um melhor desempenho.

Pretende-se, especificamente neste trabalho, que o veículo passe a dispor de capacidade para se conduzir autonomamente. Como o veículo é para ser utilizado, essencialmente, em ambientes interiores, pretende-se um sistema de guiamento que seja facilmente reconfigurável e recolocável caso seja necessário alterar o percurso e o local de movimentação, mas que tenha, certamente, um custo de instalação baixo.

Pretende-se, ainda, manter uma atitude de contínuo desenvolvimento do novo *software* de controlo, pelo que serão estudadas novas funcionalidades para que este seja o mais autónomo e funcional possível, quer nesta, quer em futuras fases de desenvolvimento.

Finalmente será elaborada uma nova aplicação SCADA de modo que esta acompanhe a evolução do veículo, seja de mais fácil utilização e seja intuitiva.

1.4 Organização e temas abordados no presente relatório

Para além do presente capítulo de introdução, o presente documento está organizado em mais sete capítulos, aos quais se seguem três anexos.

No segundo capítulo, denominado *Análise de Exemplos de Robôs Móveis*, pretende-se apresentar as diversas soluções de guiamento, utilizados como meio de condução autónoma atualmente.

É no terceiro capítulo, designado *Análise Preliminar e Considerações*, que é feita uma análise de todo o protótipo e são feitas propostas de melhorias sobre o mesmo.

No quarto capítulo são apresentadas as *Alterações e Funcionalidades Implementadas*, dando particular ênfase às alterações feitas ao sistema elétrico, ao acréscimo de meios de sensorização e deteção e à modelação e análise do funcionamento dos suportes utilizados.

Posteriormente, no quinto capítulo, denominado *Software Desenvolvido*, será dado destaque à comunicação e ao *software* desenvolvido para controlo do protótipo e para seu comando remoto.

O capítulo 6, *Testes Efetuados e Procedimentos*, incide sobre a descrição detalhada dos testes efetuados e dos procedimentos de calibração necessários para a utilização do veículo.

Em seguida, no sétimo capítulo, são retiradas as conclusões deste trabalho, e são dadas sugestões para trabalhos futuros.

Finalmente é apresentada a bibliografia utilizada na realização deste trabalho, seguindo-se os anexos constituídos pelos desenhos de construção mecânica dos apoios realizados em *SolidWorks*, da tabela de ligações ao autómato e dos esquemas elétricos.

2 Análise de Exemplos de Robôs Móveis

Neste capítulo será feita uma contextualização ao tema da condução autónoma e aos sistemas de guiamento existentes atualmente e que podem ser relevantes para este trabalho.

Visto que esta é a funcionalidade principal a acrescentar pretende-se, neste capítulo, apresentar os sistemas de guiamento existentes e expor os pontos fortes e os pontos fracos de cada sistema.

Finaliza-se o capítulo com a justificação da solução escolhida para implementação na Mesa Hidráulica Móvel.

2.1 Sistemas de guiamento

Existem diversos métodos de localização que permitem a um AGV (Automated Guided Vehicle) seguir um caminho fixo ou um caminho dinâmico. Assim, a determinação dos caminhos depende dos requisitos de flexibilidade, dos custos de instalação e da necessidade, ou não, da futura ampliação do sistema. Os sistemas com caminhos fixos são menos dispendiosos no que se refere à instalação. Porém inviabilizam a possibilidade de reagir a modificações no *layout* do trabalho sem interromper o seu funcionamento normal, acarretando por isso custos adicionais.

A seguir são apresentadas algumas dessas soluções.

2.1.1 Solução filo-guiada

O sistema filo-guiado, é a forma mais simples de navegação, uma vez que estabelece um percurso fisicamente pré-definido. Esta solução é usada em grande escala devido à sua robustez e simplicidade. É baseada num fio elétrico embutido no pavimento e num sistema de detecção do campo magnético no veículo, ou seja, um sensor para detetar o sinal proveniente do fio embutido (aproximadamente 2 a 3 centímetros abaixo da superfície do piso). O sensor deteta o sinal e ajusta a posição do veículo para mantê-lo no caminho. Uma vez que este sistema implica a abertura de um corte no pavimento, estes sistemas filo-guiados são vulgarmente utilizados quando os percursos não são susceptíveis de alteração. Apesar dessa limitação, os sistemas filo-guiados são frequentemente usados em aplicações que requerem um alto grau de precisão no caminho a percorrer pelo AGV. É exemplo desta utilização, fig. 2.1, a viagem de ida e volta entre duas estações de trabalho numa área congestionada.



Fig. 2.1 - AGV filo-guiado

2.1.2 Solução envolvendo sensores óticos

A solução assente em sensores óticos utiliza uma fita magnética ou colorida, como se representa na fig. 2.2, para estabelecer o percurso do AGV. A utilização destas fitas assume algumas vantagens perante os sistemas filo-guiados, uma vez que estas podem ser facilmente removidas e recolocadas se for necessário alterar o percurso a percorrer pelo veículo, para além do reduzido custo de instalação. Este fato deve-se à não necessidade de embutir a fita no pavimento. Esta tecnologia poder-se-á tornar instável quando incorporada em áreas de elevado tráfego, onde a fita pode ficar danificada ou suja, inviabilizando a localização do AGV.



Fig. 2.2 - AGV com sistema baseado em sensores óticos

2.1.3 Solução envolvendo trilateração/triangulação laser

A técnica envolvendo trilateração/triangulação laser utiliza painéis refletivos instalados nas colunas, paredes, máquinas ou postos, sendo estabelecido um único ponto de coordenada X, Y, para cada painel. Na fig. 2.3 encontra-se representado um esquema desta técnica, que consiste na incorporação de um *laser scanner* no veículo. Este efetua varrimentos rotativos detetando as posições dos painéis refletivos colocados ao longo do *layout*. A posição do AGV é obtida aplicando o método da trilateração/triangulação. Este método define a localização do veículo através da medição da distância e orientação dos feixes de luz refletidos pelos refletivos e, conseqüentemente, a triangulação destas medidas permite determinar a posição do AGV. O mapa do *layout* dos refletivos distribuídos pelo percurso é armazenado numa base de dados e acessível pelo AGV. Esta solução apresenta elevada flexibilidade pois é possível criar um novo *layout* sem que seja necessário efetuar interrupções ao funcionamento normal do veículo. Este método apresenta-se adequado para um ambiente industrial, desde que não exista excessiva poeira no ar.

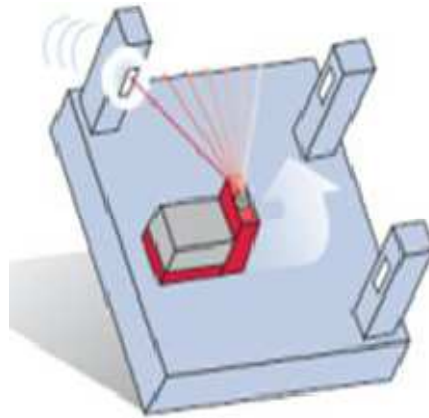


Fig. 2.3 - Solução baseada em triangulação laser

2.1.4 Solução envolvendo visão artificial

Na técnica envolvendo visão artificial, a navegação do veículo é realizada através da captura de informação visual obtida a partir de marcadores (*landmarks*), previamente distribuídos pelo percurso a percorrer pelo mesmo. Estes marcadores são normalmente figuras geométricas ou sinais colocados num *layout* pré-definido e pré-conhecido pelo AGV. Esta tecnologia é fortemente utilizada para a navegação de veículos inseridos em ambientes estruturados, onde não há variação da posição dos componentes ou equipamentos, nem um elevado fluxo na circulação de pessoas, e quando se pretende um custo de implementação relativamente baixo.

2.1.5 Solução envolvendo GPS

A solução de localização por *GPS*, apenas se aplica a situações de navegação quando o veículo circula em ambientes exteriores e é utilizada normalmente para veículos de grande porte onde não é necessária uma elevada precisão na posição do AGV. Esta tecnologia é usualmente utilizada no transporte de pessoas nos aeroportos ou para transporte de mercadorias de grandes dimensões em percursos longos, como contentores industriais em ambiente portuário. Este método não permite a recolha ou armazenamento automático de produtos nem a cooperação com outros robôs num sistema de produção/distribuição flexível, devido à falta de precisão na determinação da posição do veículo.

2.1.6 Solução envolvendo giroscópios

A tecnologia envolvendo giroscópios surgiu na década de 90 como alternativa à solução filo-guiada. No pavimento são embutidos pequenos marcadores (*transponders*), ilustrados na fig. 2.4, e cada AGV é equipado com um giroscópio. Estes dispositivos possuem uma elevada capacidade de detetar pequenos desvios na direção do veículo e são utilizados em conjunto com os marcadores para determinar a posição do veículo guiado autonomamente. Estes marcadores são utilizados como pontos de referência para corrigir qualquer pequeno erro acumulado ao longo da distância entre os marcadores. Normalmente encontra-se um marcador a cada 25 metros. Do mesmo modo que na navegação baseada na triangulação a laser, o caminho a percorrer é um jogo virtual de coordenadas armazenadas na memória de cada AGV ou numa base de dados central. A margem de erro para o método de inércia é de mais ou menos 1 centímetro.

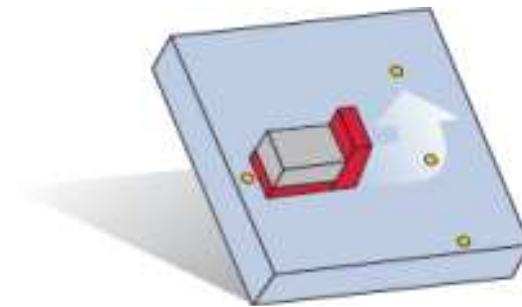


Fig. 2.4 - Solução de localização por giroscópio

2.2 Conclusão

Estando este trabalho inserido num ambiente laboratorial que não dispõe de um *layout* fixo, não se pode optar por uma solução em que seja dispendioso alterar o percurso a percorrer. Não se prevê também a necessidade de um sistema de elevada precisão no posicionamento do veículo, nem haverá elevado tráfego de veículos, pois só existe um protótipo.

Como tal, a solução escolhida para este caso em particular, foi a solução assente em sensores óticos para o sistema de detecção e fita colorida como sistema de guiamento.

O veículo possui um sistema de direção articulado a meio do veículo e este tem características simétricas entre a parte de trás e a parte da frente. Neste caso os sensores terão de ser colocados à frente e atrás do veículo. A disposição dos sensores será abordada mais à frente neste relatório.

A fita tem a flexibilidade de colocação referida anteriormente e caso seja danificada pode ser recolocada facilmente. Os sensores serão aplicados num apoio que permitirá regular o espaçamento entre eles, permitindo assim que sejam ajustados, de modo a otimizar o sistema de guiamento.

3 Análise Preliminar e Considerações

Como esta é a terceira fase de desenvolvimento do veículo não se pode partir para o desenvolvimento da nova solução sem antes se analisar e descrever o estado em que se encontra o protótipo.

Sendo assim, neste capítulo serão abordados os seguintes temas pela ordem em que se encontram descritos de seguida:

Estrutura Mecânica e Acionamentos: descrição da estrutura mecânica do veículo e do seu sistema de acionamento;

Sistema de Direção: descrição do sistema de direção e de parâmetros relevantes para a condução do veículo;

Sistema Hidráulico: breve exposição do sistema hidráulico instalado no protótipo.

Sensorização: descrição dos vários transdutores já instalados no veículo hidráulico;

Sistema Elétrico e Hardware: análise e considerações do sistema elétrico instalado.

Pretende-se assim neste capítulo descrever de uma forma mais detalhada o protótipo e fornecer uma base de entendimento para que, após este capítulo, seja possível partir para o desenvolvimento da nova solução.

3.1 Estrutura Mecânica e Acionamentos

O protótipo é constituído por duas mesas com $800 \times 600 \text{ mm}^2$ cada uma, articuladas a meio por um sistema de direção tipo *dumper*. É suportado por quatro pernas articuladas construídas por perfis em liga de alumínio, pelo que o veículo é o mais leve possível.

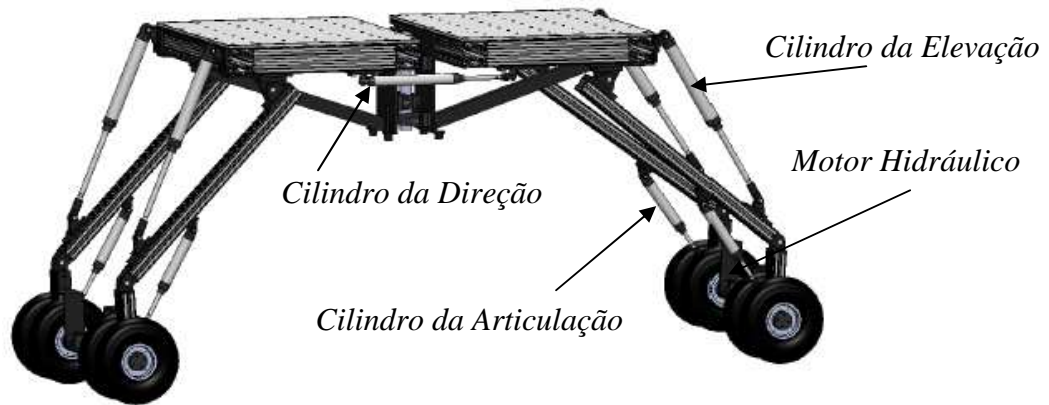


Fig. 3.1 - Modelo 3D da Mesa Hidráulica Móvel

O sistema hidráulico de acionamento é composto por quatro cilindros de elevação, por quatro cilindros de articulação, por dois cilindros na direção e por quatro motores hidráulicos na tração. Na Fig. 3.1 é possível ver um modelo 3D do protótipo, onde se encontram assinalados os acionamentos presentes no veículo.

Os cilindros da elevação e da articulação têm um curso de 200 mm e 100 mm respetivamente.

O sistema de direção será abordado de seguida.

3.2 Sistema de Direção

O sistema de direção instalado possui quatro mancais (chumaceiras) acoplados a um veio de 35 mm e é acionado por cilindros hidráulicos, Fig. 3.2.

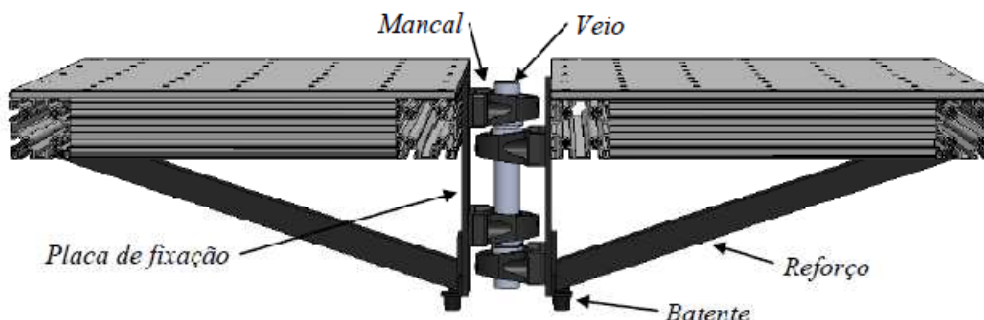


Fig. 3.2 - Sistema de direção articulado do veículo

Para a direção foram escolhidos dois cilindros com um curso de 200 mm, Fig. 3.3, e pela forma como estão dispostos, possibilitam ao veículo um ângulo de viragem máximo de 17° para cada lado.

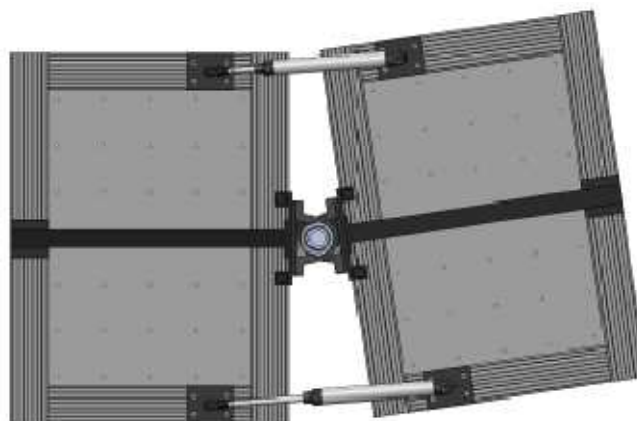


Fig. 3.3 - Sistema de acionamento da direção

Como possui um sistema de direção articulado a meio, o raio de curvatura do veículo é um aspeto a ter em conta para a sua condução, Fig. 3.4. Visto que este tem capacidade para ajustar a altura da mesa e as articulações, a distância do eixo das rodas ao centro de rotação do veículo varia, pelo que o raio de curvatura vai então variar com a configuração do veículo em cada momento.

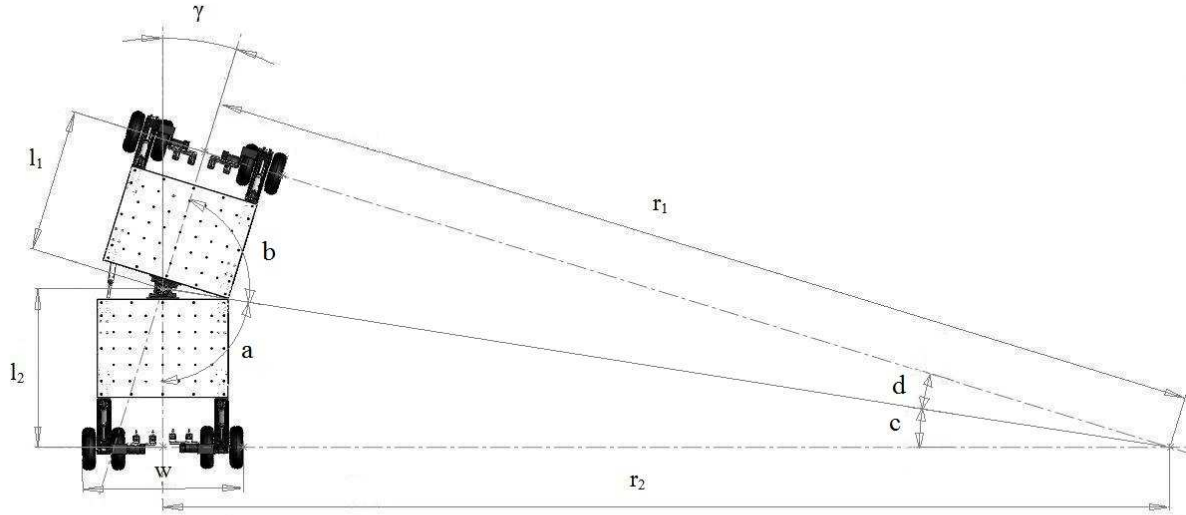


Fig. 3.4 - Raio de curvatura da Mesa Hidráulica Móvel

O raio de curvatura será menor quando os eixos das rodas estiverem mais perto do eixo de rotação do protótipo. Isto acontece com a mesa elevada na sua posição máxima e as articulações recuadas.

Sabe-se que o raio de viragem máximo é $\gamma=17^\circ$, pelo que será interessante, para efeitos de condução, saber o raio de curvatura mínimo, que ocorre para $l_1 = l_2 = l_{\min}$. Através do modelo 3D em *SolidWorks* foi calculado esse comprimento mínimo ($l_{\min}=875$ mm).

Para calcular o raio de curvatura mínimo do veículo nas condições referidas anteriormente teve-se como base a cinemática de veículos com direção articulada tipo *dumper* (*Kinematics of Articulated Steering Mobile Robot*).

$$a + b + \gamma = 180^\circ \quad (1)$$

$$a + c = 90^\circ \quad (2)$$

$$b + d = 90^\circ \quad (3)$$

Substituindo a equação (2) e (3) em (1) temos que:

$$c + d = \gamma \quad (4)$$

Pode-se agora calcular o raio de curvatura através de:

$$r_2 \times \tan \gamma = l_2 + \frac{l_1}{\cos \gamma} \quad (5)$$

$$r_2 = \frac{l_2 \times \cos \gamma + l_1}{\sin \gamma} \quad (6)$$

Pela equação (6) o raio de curvatura mínimo calculado é de 5,85 m. Este é um parâmetro a ter conta quando se pretender implementar a condução autónoma na Mesa Hidráulica.

3.3 Sistema Hidráulico

A central hidráulica, Fig. 3.5, instalada no veículo fornece um caudal de 4 l/min a uma pressão máxima de 35 bar, e é constituída por um motor elétrico AC trifásico de 370 W e uma bomba de engrenagens exteriores de 3,2 cm³ de cilindrada.



Fig. 3.5 - Exemplo de uma central hidráulica compacta

O sistema hidráulico encontra-se dividido em cinco sub-circuitos. Quatro sub-circuitos de acionamento das pernas e um para a direção. A repartição do caudal disponível pelos cinco sub-circuitos é realizado através de um divisor de caudal de cinco elementos, que disponibiliza um caudal máximo de 0,8 l/min para cada sub-circuito.

De modo a ser o mais compacto possível, este possui válvulas de rosca que foram montadas em blocos de liga de alumínio, pelo que o veículo possui cinco blocos, um para cada sub-circuito.

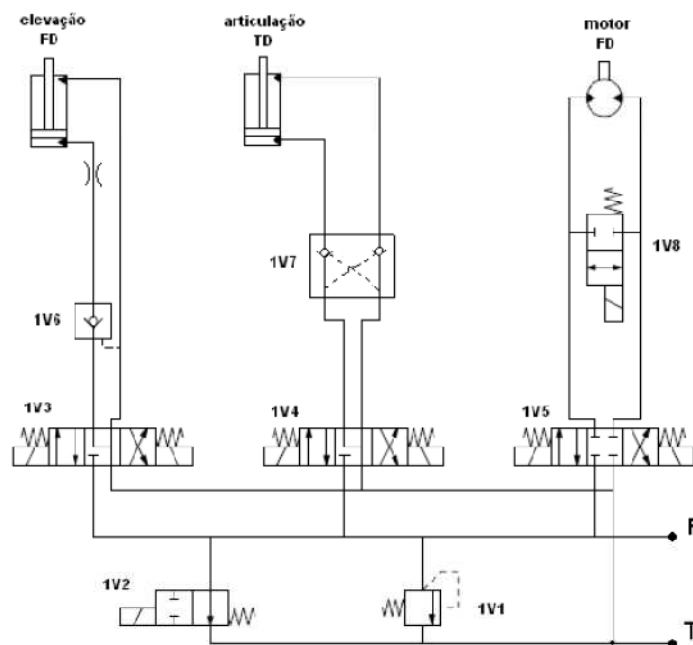


Fig. 3.6 - Sub-circuito hidráulico de acionamento de uma das pernas

Na Fig. 3.6 pode-se observar o sub-circuito hidráulico de acionamento de uma das pernas que se encontra dividido no comando da elevação, da articulação e do motor hidráulico.

O comando da elevação é constituído por uma eletroválvula 4/3 (1V3) para realizar o avanço e o recuo do cilindro da elevação. Possui ainda uma válvula de retenção pilotada simples (1V6) para impedir que o chassis do veículo desça por ação da gravidade.

O comando da articulação é constituído por uma eletroválvula 4/3 (1V4) para realizar o avanço e o recuo do cilindro da articulação. Possui ainda uma válvula de retenção pilotada dupla (1V7) para impedir os movimentos da articulação por ação da gravidade, visto que esta pode favorecer tanto o recuo como o avanço da articulação.

De modo a permitir mover os atuadores da elevação e da articulação de uma perna em simultâneo, os cilindros da articulação de trás são alimentados pelos sub-circuitos das pernas da frente, e assim sucessivamente. Por exemplo, o cilindro da articulação da perna da frente do lado esquerdo é alimentado pelo sub-circuito de acionamento da perna de trás do lado esquerdo.

O comando dos motores hidráulicos é realizado por uma eletroválvula 4/3 (1V5) de centro fechado, que permite rodar os motores num ou noutro sentido. Possui também uma eletroválvula 2/2 (1V8) de modo a “destravar” as rodas quando se desejar ter umas rodas livres e outras bloqueadas. Esta característica revela-se bastante útil, por exemplo, em movimentos de subida ou descida do chassis onde se deseja algumas rodas livres e outras bloqueadas durante esses movimentos.

Cada sub-circuito possui ainda uma válvula limitadora de pressão (1V1) e uma eletroválvula 2/2 (1V2) para por o respetivo sub-circuito em carga.

Contudo, as saídas de tanque dos quatro sub-circuitos de acionamento das pernas encontram-se ligadas a um sub-circuito de contrapressão composto por duas válvulas, Fig. 3.7.

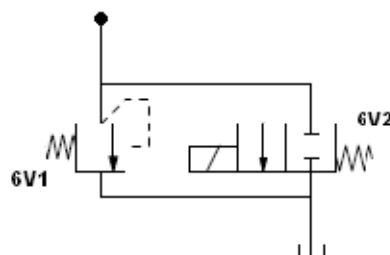


Fig. 3.7 - Sub-circuito de contrapressão

Este circuito é composto por uma válvula limitadora de pressão (6V1) capaz de impor a contrapressão necessária, na linha de retorno, nos movimentos de descida do veículo. A eletroválvula 2/2 (6V2) permite “curto-circuitar” esta função.

O sub-circuito da direção (Fig. 3.8) é constituído por uma eletroválvula 4/3 (5V2) que permite comandar a direção do veículo. Esta válvula permite também que o sub-circuito fique à descarga quando a direção não está a ser utilizada. Possui também uma válvula limitadora de pressão (5V1).

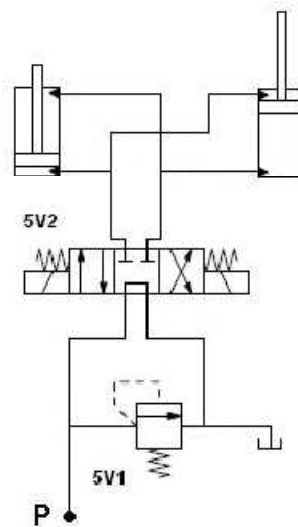


Fig. 3.8 - Sub-circuito da direcção

Embora os atuadores sejam assimétricos, a ligação “cruzada” entre os dois permite que o acionamento da direção tenha características de velocidade e força iguais em ambos os sentidos.

Todos os acionamentos descritos anteriormente podem ser realizados com velocidade variável, visto que o veículo possui um variador de frequência (secção 3.5.2) que permite variar a velocidade de rotação do motor elétrico que aciona a bomba hidráulica.

Fica assim dada aqui uma noção geral de todo o sistema hidráulico responsável pelo acionamento do protótipo.

3.4 Sensorização

Começa-se a abordagem aos transdutores instalados no veículo descrevendo o inclinómetro que permite medir a inclinação da mesa em dois eixos ortogonais. O modelo instalado é o SCA121T da *VTI Technologies* (Fig. 3.9) e pela forma como está colocado mede a inclinação transversal e a lateral do veículo. Tem uma gama de medição de 60° , pelo que possibilita a medição de inclinações entre -30° a 30° em cada eixo, o que excede largamente os requisitos pedidos para o veículo.



Fig. 3.9 - Inclinómetro SCA121T

O veículo hidráulico possui também transdutores de posição, nos atuadores responsáveis pela elevação e articulação das pernas, num total de oito. Estes transdutores medem a posição desses atuadores e têm uma gama de medição de 250 mm, o que se adequa, dado que o curso desses atuadores é inferior. São transdutores de cabo potenciométricos da marca *Micro-Epsilon*, nomeadamente o modelo *MK30* (Fig. 3.10).



Fig. 3.10 - Transdutor de posição *Micro-Epsilon MK30*

Na direção foi instalado um transdutor potenciométrico com uma gama de medição de 100 mm. Visto que os atuadores da direção têm um curso de 200 mm, o transdutor teve de ser instalado mais perto do eixo de rotação da direção. Na Fig. 3.11 pode-se observar o transdutor que foi instalado (modelo *LTH100S* da *GEFRAN*).



Fig. 3.11 - Transdutor de posição LTH100S da GEFRA

Por fim, estão instalados no veículo quatro transdutores de pressão de membrana da *AEP Transducers* (Fig. 3.12), que têm uma gama de medição de 0 a 50 bar. Estes medem a pressão nas linhas de alimentação das câmaras maiores dos cilindros de elevação, e permitem saber a carga a que cada uma está sujeita e saber se a perna se encontra ou não em contacto com o solo.



Fig. 3.12 - Transdutor de pressão TP3BE53R

Fica assim aqui revista toda a sensorização instalada na Mesa Hidráulica Móvel.

3.5 Sistema Elétrico e Hardware

3.5.1 Autómato

A Mesa Hidráulica Móvel é controlada por um micro autómato programável de características industriais, o *Twido*, como se pode ver na Fig. 3.13.

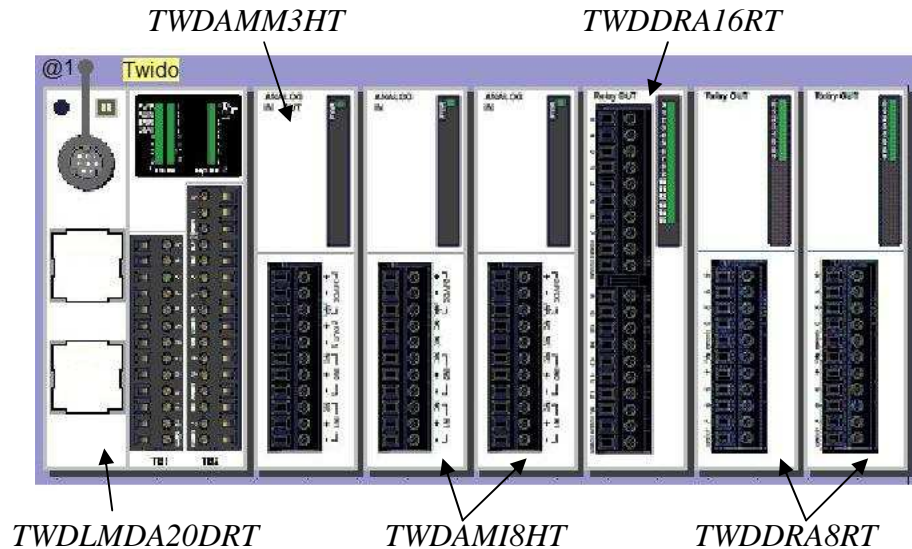


Fig. 3.13 - Autómato e os módulos de expansão

Possui uma base modular e mais seis módulos de expansão com as seguintes características:

Uma base modular TWDLMDA20DRT, que para além de correr o programa desenvolvido para o controlo do protótipo, possui ainda 12 entradas e 8 saídas digitais (sendo 6 por relé);

Um módulo de expansão TWDAMM3HT, com uma saída e duas entradas analógicas;

Dois módulos de expansão TWDAMI8HT, com oito entradas analógicas cada;

Um módulo de expansão TWDDRA16RT, com 16 saídas digitais (por relé);

Dois módulos de expansão TWDDRA8RT, com oito saídas digitais cada (por relé).

Todos os módulos se encontram totalmente preenchidos à exceção do módulo base principal que tem onze entradas digitais disponíveis.

Na Tabela 1 podem-se visualizar as funções dos vários módulos do autómato.

Tabela 1 - Funções dos vários módulos do autômato

Módulo	Funções
TWDLMDA20DRT	<ul style="list-style-type: none">• Aquisição Emergência• Atuação Solenóides da direção• Atuação Solenóides da contrapressão• Atuação Start/Stop do variador de freq.
TWDAMM3HT	<ul style="list-style-type: none">• Sinal ref. para o variador de freq.• Leitura do inclinômetro
TWDAMI8HT	<ul style="list-style-type: none">• Leitura dos transdutores de posição
TWDAMI8HT	<ul style="list-style-type: none">• Leitura da carga das baterias• Leitura do transdutor da direção• Leitura dos transdutores de pressão
TWDDRA16RT	<ul style="list-style-type: none">• Atuação Solenóides da Perna FD• Atuação Solenóides da Perna FE
TWDDRA8RT	<ul style="list-style-type: none">• Atuação Solenóides da Perna TD
TWDDRA8RT	<ul style="list-style-type: none">• Atuação Solenóides da Perna TE

3.5.2 Variador de Frequência

De modo a ser possível controlar a velocidade do protótipo, o motor elétrico é comandado por um variador de frequência da *Yaskawa Electric Corporation*, mais concretamente o modelo Varispeed-606PC3, Fig. 3.14. Este equipamento, por sua vez, é comandado pelo autômato.



Fig. 3.14 - Variador de frequência Varispeed-606PC3

3.5.3 Inversor de Corrente

O variador é alimentado com 240 VAC monofásicos e fornece uma saída trifásica de 240 VAC, sendo a frequência variável entre os 0 Hz e os 60 Hz em função do sinal fornecido pelo autômato. As baterias instaladas no protótipo fornecem 12 VDC, pelo que o veículo tem

também incorporado um inversor de corrente responsável por converter esta energia em corrente alternada, conseguindo-se assim obter os 240 VAC necessários para alimentar o variador de frequência.

3.5.4 Sistema Elétrico

O sistema elétrico do veículo encontrava-se dividido em quatro sub-sistemas independentes:

24 V de comando: este circuito era composto por duas baterias de 12 VDC, ligadas em série, responsáveis por alimentar o autómato e os transdutores de pressão;

12 V de sinal: este circuito era alimentado por uma das baterias do circuito de alimentação do autómato e era responsável por alimentar os transdutores de posição, visto que o consumo de corrente era relativamente reduzido;

24 V de potência: este circuito era composto duas baterias de 12 VDC ligadas em série, responsáveis por alimentar os solenóides das eletroválvulas;

12 V de potência: este circuito era composto por quatro baterias de 12 VDC, ligadas em paralelo, responsáveis por fornecer energia ao inversor de corrente, que por sua vez alimenta o motor elétrico da central hidráulica;

Pode-se observar na Fig. 3.15 o diagrama representativo do sistema de alimentação do veículo, que possui ainda uma botoneira “on/off” que permite ligar e desligar o veículo, cortando a alimentação aos circuitos de comando e potência, ficando o protótipo desligado e sem consumo de energia. Contém também duas botoneiras de emergência que, quando premidas, efetuam o corte dos circuitos de potência permitindo que o autómato e os transdutores continuem ligados, mas impede que este realize qualquer movimento, como é de todo desejável.

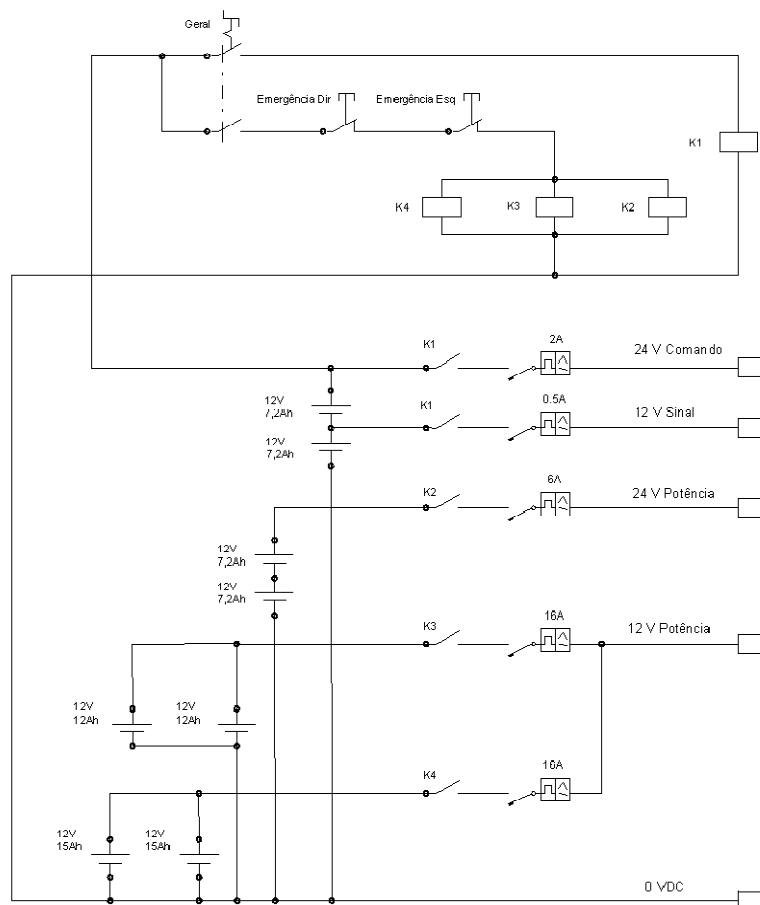


Fig. 3.15 - Sistema de alimentação elétrica

Como foi referido, devido aos transdutores potenciométricos estarem alimentados a 12 VDC por uma das baterias do circuito de 24 V de comando, levava a que a variação da carga da mesma influenciasse o correto funcionamento desses transdutores. Portanto, será necessário instalar uma fonte de alimentação estabilizada, de modo a alimentar os transdutores a tensão efectivamente constante.

O fato de estes transdutores estarem alimentados a 12 VDC não se revelou um problema, para os transdutores de cabo potenciométricos presentes nos cilindros de elevação e da articulação, porque estes têm uma gama superior ao curso dos cilindros, que têm um curso de 200 mm e de 100 mm, respetivamente. No entanto, o transdutor da direção, de 100 mm curso era utilizado em todo o seu curso e perdia-se o valor da medição do ângulo da direção, por saturação da leitura no autómato, visto que este lê sinais analógicos de 0 a 10 VDC. Sendo assim, é necessário alterar a alimentação dos transdutores para 10 V.

Como se pode ver na Fig. 3.16, o quadro elétrico não tinha espaço para novas ligações, aspecto que terá de se ter em consideração, visto que serão necessárias efetuar as ligações dos sensores óticos.

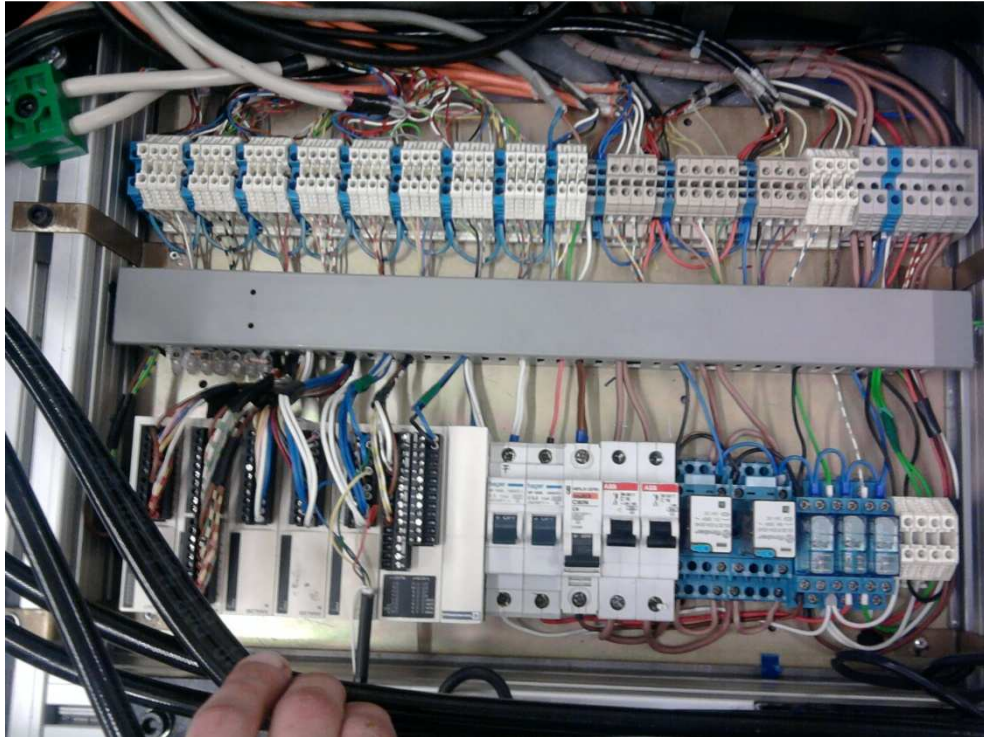


Fig. 3.16 - Quadro elétrico do veículo (versão anterior)

Após a análise da parte elétrica do veículo e do seu *hardware*, é necessário:

Estabilizar a alimentação dos transdutores potenciométricos a 10 VDC, eliminando assim a influência da variação da carga das baterias nas leituras dos transdutores;

Conseguir mais espaço no quadro elétrico para ligar os sensores óticos e para futuras ligações.

Está assim feita uma descrição de todas as características do protótipo. Foram também evidenciados os aspectos que necessitam de melhoramentos, e no capítulo seguinte serão descritas as alterações efetuadas, bem como as novas funcionalidades implementadas.

4 Alterações e Funcionalidades Implementadas

Após a análise feita à Mesa Hidráulica Móvel, pretende-se agora descrever as funcionalidades que foram implementadas e os melhoramentos realizados no presente trabalho.

Como tal, este capítulo encontra-se dividido da seguinte forma:

Sensores Óticos e Suportes: exposição das novas funcionalidades implementadas no protótipo, incluindo o modo de funcionamento dos sensores óticos escolhidos e a modelação dos seus suportes;

Sistema Elétrico e Hardware: descrição do funcionamento da nova fonte de alimentação instalada e do sistema elétrico alterado.

Sendo assim neste capítulo será descrito o modo de funcionamento dos sensores e a modelação e concepção dos seus suportes. Serão referidas também as alterações feitas ao sistema elétrico.

No fim deste capítulo estarão finalizadas todas as alterações e todo o desenvolvimento aplicado ao protótipo, estando este pronto para o desenvolvimento do *software*.

4.1 Sensores Óticos

O sensor fotoelétrico também é conhecido por sensor ótico, e baseia-se na transmissão e recepção de luz infravermelha, podendo ser refletida ou interrompida pelo objeto a ser detetado. Este tipo de sensor é composto por dois circuitos: um transmissor (LED – díodo emissor de luz), responsável pela emissão do feixe de luz, e o receptor (fototransístor ou fotodíodo), responsável pela receção do feixe de luz.

Os sensores escolhidos foram os sensores óticos da *Schneider Electric*. São uns detetores fotoelétricos pertencentes à série universal.

De seguida será feita uma descrição do seu modo de funcionamento e do processo de calibração.

4.1.1 Modo de Funcionamento

Devido ao modo de condução autónoma escolhido foram adquiridos sensores óticos de corpo metálico, como se pode ver na Fig. 4.1, devido a estes serem mais robustos do que os têm o corpo em plástico. Estes têm quatro modos de funcionamento:

Proximidade: modo difuso com o emissor e o recetor dispostos no mesmo conjunto ótico, os raios emitidos pelo transmissor refletem na superfície do objeto e retornam ao elemento recetor;

Plano posterior: modo difuso utilizado em aplicações que exigem ao sensor detetar um alvo muito próximo num fundo reflexivo;

Refletor: com o emissor e o recetor justapostos no mesmo conjunto ótico, os raios infravermelhos são emitidos em direção a um espelho prismático e a comutação da saída ocorre com a interrupção do feixe;

Barreira: o elemento emissor está alinhado com o recetor e com a interrupção do feixe ocorre a comutação da saída.

Os dois modos possíveis de interesse para aplicação no veículo são os que funcionam no modo difuso, nomeadamente o modo de proximidade e o modo de supressão do plano posterior.



Fig. 4.1 - Sensor Ótico XUB0BPSNM12

No modo de proximidade, este sensor tem um alcance máximo de 30 cm, e quando devidamente calibrado cumpre todos os requisitos necessários para o funcionamento no veículo, visto que a distância do sensor ao solo varia com a inclinação da articulação, mas nunca excede esse valor máximo.

A regulação do alcance do sensor é por autoaprendizagem e tem um LED para assistência de colocação em serviço.

Tem como limites mínimos e máximos de tensão de alimentação de 10 a 36 VDC respetivamente.

A ligação do sensor é feita por cabo com um ligador curvo M12, que também foram adquiridos à *Schneider Electric* de acordo com o comprimento necessário.

4.1.2 Calibração

Para testar o modo de funcionamento do sensor, este foi montado numa calha de teste e alimentado por uma fonte de alimentação disponível no laboratório. A Fig. 4.2 mostra a fonte de alimentação utilizada.



Fig. 4.2 - Fonte de Alimentação

De seguida será descrito o processo de calibração dos sensores óticos utilizados, Fig. 4.3, de modo a estes funcionarem dentro do alcance pretendido.

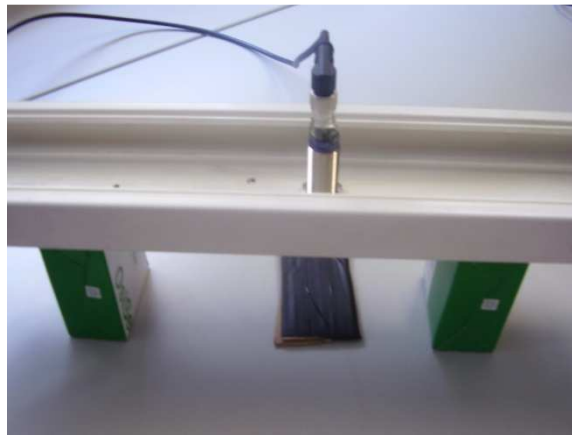


Fig. 4.3 - Sensor no suporte para calibração

Quando é ligado, o sensor não se encontra em nenhum modo de funcionamento, estando, portanto, com o “led” verde a piscar.

Calibração no “Modo de Proximidade”:

Fixar o sensor na calha de suporte.

Deixá-lo com cerca de 1 cm para baixo da calha.

Por a calha a cerca de 9 cm de altura relativamente à mesa.

Por a fita preta por baixo do sensor bem alinhada.

Carregar no botão do sensor durante 3 segundos até fixar o “led” verde.

Largar, e o sensor começa o modo de aprendizagem, piscando durante esse processo o led verde.

Quando este fixar, o sensor já se encontra em funcionamento e deteta (acende o led amarelo) quando a fita não está presente.

Como neste momento faz o oposto do que se pretende tem-se de inverter a saída. Para isso, atuamos o botão do sensor durante 3 segundos até acender o “led” verde. Continuamos mais 3 segundos até acender o amarelo e depois largamos. Quando fixar o led verde a operação está finalizada.

Após alguns ensaios efetuados verificou-se que este funciona corretamente num intervalo de distância entre 4 a 13 cm e está “imune” a alguns desvios angulares e perturbações oscilatórias, desde que sejam de pequena amplitude.

Verificou-se que o sensor posto em “modo de supressão” de fundo tem um alcance máximo de 12 cm e uma gama de distância de atuação muito menor. Além disso, o objeto a detetar (fita colorida), não se encontra num fundo muito reflexivo (pisso do laboratório), o que leva para já a por de parte este modo de funcionamento, para o tipo de apoios que vão ser construídos.

4.2 Suporte para os Sensores

Definiu-se que o melhor sítio para fixar os apoios para os sensores seria ao nível do eixo dos motores hidráulicos, visto que assim os sensores ficam perto do solo e da fita colorida a detetar. Neste sítio ficam também o mais afastado do centro de rotação da direção do veículo detetando as alterações de trajetória o mais antecipadamente possível. Sendo assim, os motores hidráulicos são o local mais indicado para colocá-los.

Foi decidido colocar oito sensores no protótipo de modo a ser possível implementar a condução autónoma. Sendo assim quatro sensores vão ser instalados na frente e quatro atrás devido ao veículo ser simétrico e tanto se poder deslocar num sentido como no noutro. A melhor forma de distribuir os quatro sensores foi colocar dois em cada suporte, ficando o sensor interior responsável por detetar a trajetória a seguir e a atuação do sensor exterior responsável por indicar que não se vai conseguir cumprir a trajetória pretendida. Como tal, serão necessários quatro suportes, um para cada perna, ficando cada suporte com dois sensores.

Se os sensores fossem simplesmente fixos à articulação, o fato de esta poder variar o ângulo que faz com o solo, levaria a que os sensores deixassem de estar perpendiculares ao solo, levando ao incorreto funcionamento dos mesmos. Foi então necessário pensar num suporte que pudesse corrigir essa situação.

Após uma primeira tentativa frustrada na concepção de um suporte que garantisse a permanente perpendicularidade do sensor com o solo, visto que este tinha grande atravancamento e não permitia ajustar o espaçamento entre os sensores. É ainda de referir que tinha uma massa considerável e apresentava bastante atrito entre o seu suporte e o motor hidráulico, e que apresentava comportamento oscilatório, não sendo de todo desejável para o objectivo pretendido.

Passou-se então para outra solução mais refinada, que tivesse menor massa, permitisse ajustar o espaçamento entre os sensores e respondesse bem, quer para pequenas como para grandes variações da amplitude da articulação, com menor atrito entre as partes móveis, sem apresentar comportamento oscilatório e que funcionasse dentro da gama de detecção máxima do sensor. Após alguma pesquisa, na tentativa de encontrar uma solução comercial que já respondesse a todos os requisitos exigidos, foi concebido em *SolidWorks* uma possível solução, como se pode ver na Fig. 4.4.

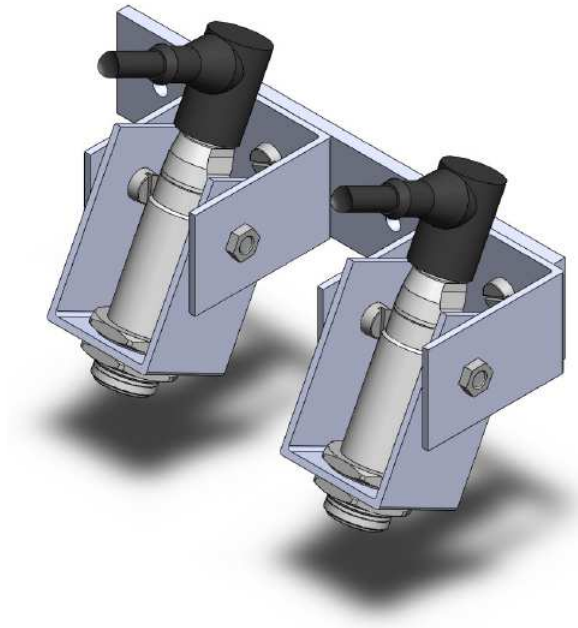


Fig. 4.4 - Modelação dos apoios dos sensores

Com esta solução procurou-se ter uma parte do apoio disponível para fixar ao motor hidráulico, ficando outra parte, onde se fixam os sensores, com movimento relativo em relação ao suporte, deixando então os sensores livres para se ajustarem caso exista avanço ou recuo da articulação.

Para se poder testar a solução escolhida foi construído só um suporte para um sensor, a partir de uma barra de alumínio, montado no motor hidráulico do veículo de uma forma provisória, para assim se poder aferir do seu comportamento, como se pode ver na Fig. 4.5.



Fig. 4.5 - Montagem provisória no veículo

Ligou-se o sensor com a fonte de alimentação, visto que os cabos dos sensores ainda não estão ligados no veículo, pois estes ainda não podem ser cortados à medida e ligados. Variou-se a posição da articulação entre a sua posição mínima e máxima, com a fita no solo, em frente ao sensor, e o sensor detetou a mesma durante todo o processo de teste. No entanto,

visto o suporte ser em alumínio, constatou-se que era desejável ter um pouco mais de massa junto à parte inferior do sensor, sendo então adicionada uma pequena secção de um tubo de ferro, como se pode constatar pela Fig. 4.6.



Fig. 4.6 - Testes ao sensor

Com os testes efetuados verificou-se que seria necessário corrigir alguns aspectos e então modelaram-se novamente os apoios para os sensores, como se pode ver na fig.Fig. 4.7, de acordo com os pressupostos enumerados anteriormente, de modo a se poder proceder a uma construção e montagem final destes com os sensores no veículo.

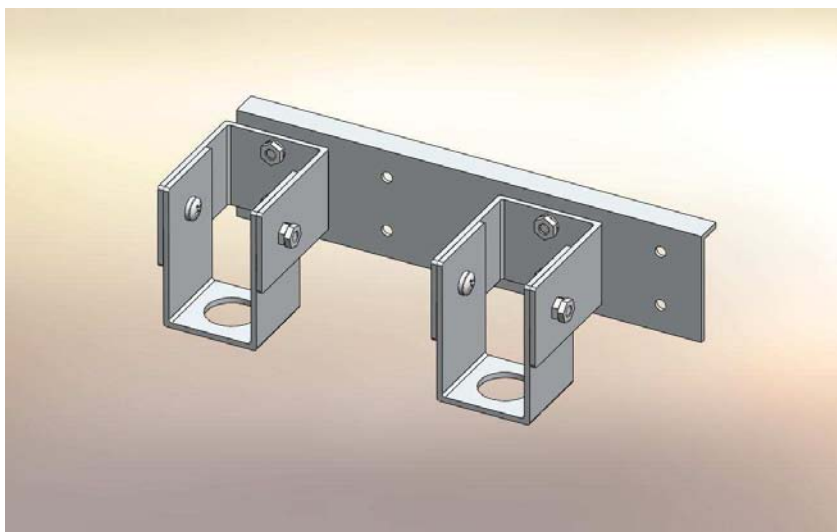


Fig. 4.7 - Suporte final para os sensores

Fixaram-se os suportes dos sensores aos motores hidráulicos com braçadeiras metálicas, que não se encontram representadas na modelação. Os desenhos de construção do suporte podem ser consultados no Anexo A.

Testou-se novamente o comportamento do suporte com os sensores (fig.Fig. 4.8) para as posições mínima e máxima do atuador da articulação, e concluiu-se assim que este suporte

cumpra todos os requisitos exigidos, garantindo a perpendicularidade do sensor ao solo e o seu correto funcionamento.

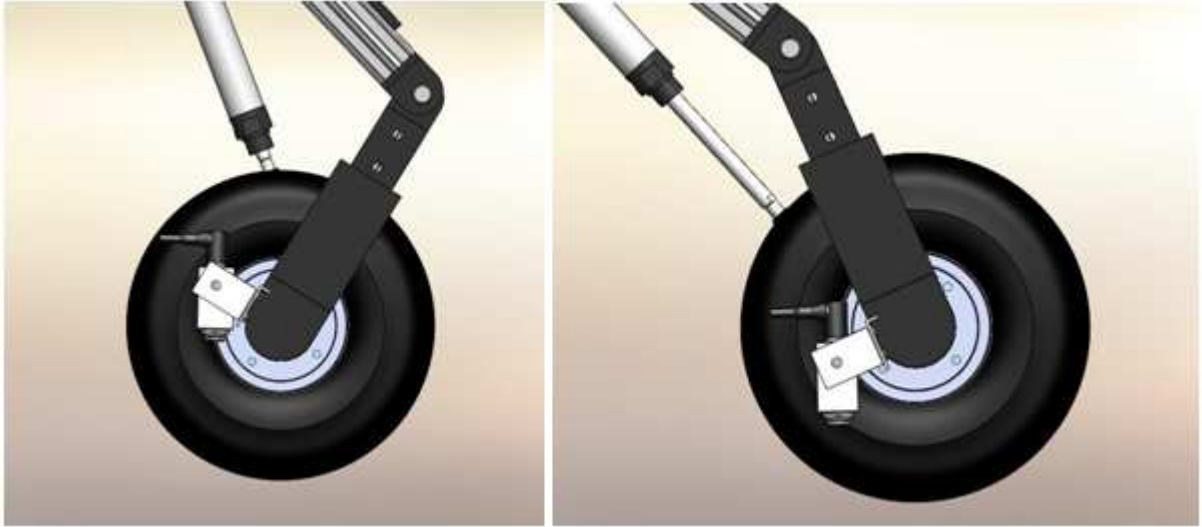


Fig. 4.8 - Comportamento do suporte para recuo e avanço máximo da articulação

Estão agora os sensores disponíveis para serem ligados ao veículo. Como tal, de seguida será feita a descrição das alterações ao sistema elétrico do veículo.

4.3 Sistema Elétrico e Hardware

Com a instalação dos sensores nos suportes e a fixação destes nos motores hidráulicos passou a ser necessário intervir no sistema elétrico do veículo, para se poder proceder à ligação dos sensores ópticos instalados e aos melhoramentos descritos no capítulo anterior. Sendo assim, de seguida será feita a análise da fonte de alimentação que foi instalada no protótipo. Posteriormente serão descritas as alterações efetuadas ao circuito elétrico.

4.3.1 Fonte de Alimentação

Foi adquirido um kit de montagem de uma fonte de alimentação universal simétrica (K8042 da Velleman) de baixo custo.

Esta fonte permite ter uma tensão de entrada máxima de 2 x 24 VAC, saída positiva e negativa regulável entre 1,2 e 24 VDC ajustável por potenciômetro, uma corrente de saída até 2 x 1A contínua (com um dissipador adequado), indicadores LED na saída e tem ainda um tamanho compacto.

Esse kit foi montado, soldados todos os componentes na placa de circuito impresso, como se pode observar na fig. Fig. 4.9, e testado o seu funcionamento.

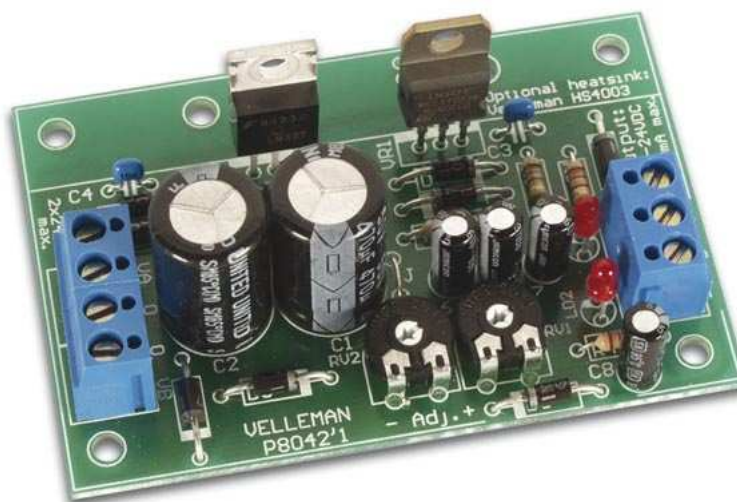


Fig. 4.9 - Fonte de Alimentação Instalada

A fonte foi alimentada a 24 VDC, a partir do circuito de 24 V de comando, e estando a funcionar devidamente, foi ajustada a saída para 10 VDC, ficando assim os transdutores potenciométricos alimentados a tensão constante, desde que na entrada estejam sempre mais

do que 13 V. Condição essa que está sempre assegurada visto que com as baterias a essa tensão já o autómato não funcionaria corretamente.

Esta fonte permite a instalação de um dissipador de calor, mas como o consumo de corrente é reduzido foi decidido não instalar nenhum dissipador.

4.3.2 Alterações ao Sistema Elétrico

Para permitir a ligação dos sensores óticos, necessários ao método de condução autónoma a implementar, era necessário “compactar” o quadro elétrico. Como a calha DIN, onde estão fixos os bornes de ligação já se encontrava sem espaço disponível para colocar mais bornes, decidiu-se substituir parte dos bornes simples presentes, por bornes duplos. Na fig. Fig. 4.10 é possível ver os bornes, a branco, que foram substituídos por bornes duplos. Estes permitem a ligação dos solenóides das eletroválvulas direcionais, do travão e de carga das quatro pernas, ao autómato.

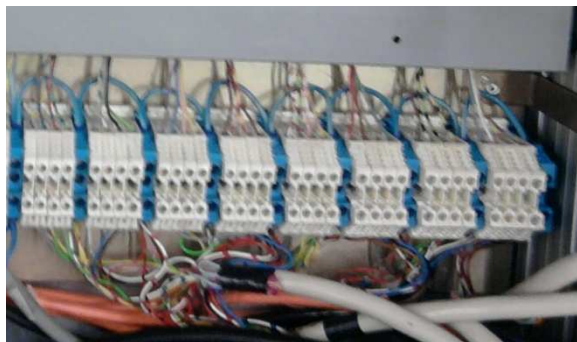


Fig. 4.10 - Bornes a substituir

Trocaram-se assim 32 bornes simples por 16 bornes duplos, ficando a calha com espaço disponível para fazer a ligação dos sensores.

Com mais espaço na calha DIN procedeu-se à ligação dos oito sensores óticos no quadro elétrico utilizando para isso quatro bornes duplos para ligar as saídas dos sensores ao autómato, mais dois bornes simples, um para a alimentação a 24 VDC e outro para os 0 VDC.

Procedeu-se de seguida à instalação e ligação da fonte de alimentação como se pode ver na fig. Fig. 4.11.



Fig. 4.11 - Quadro Elétrico

Com a fonte de alimentação ligada e previamente ajustada, procedeu-se à eliminação da parte do circuito elétrico pertencente aos 12 V de sinal que vinha diretamente da bateria, ficando assim os transdutores potenciométricos alimentados a 10 VDC, como se tinha justificado anteriormente. No novo circuito elétrico manteve-se o disjuntor responsável por efetuar o corte de energia em caso de sobrecarga. Pode-se ver na fig. Fig. 4.12 o esquema elétrico final.

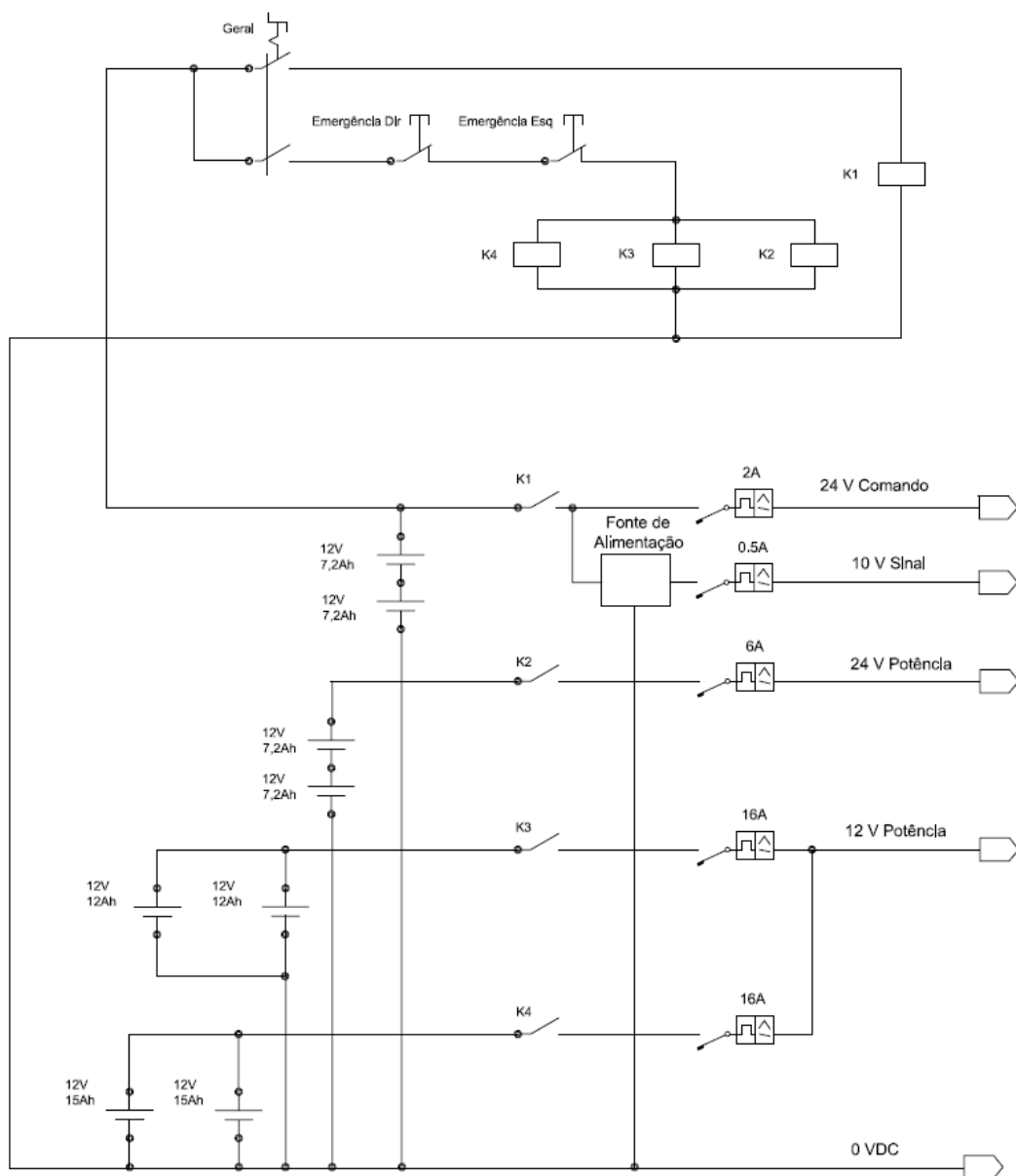


Fig. 4.12 - Sistema de alimentação final

Em suma, com a instalação da fonte de alimentação e regulação da sua tensão de saída foi possível alimentar os transdutores a uma tensão constante de 10 V e ainda foi possível corrigir a variação da leitura dos transdutores com a carga das baterias, que se verificava anteriormente.

Com a ligação dos sensores óticos no veículo, o autómato ficou ainda com três entradas digitais livres.

O esquema completo com as ligações aos vários módulos do autómato pode ser consultado com mais detalhe no Anexo B.

5 Software Desenvolvido

Neste capítulo será feita uma análise de todo o *software* desenvolvido para o controlo e comando remoto do veículo.

De forma a facilitar a exposição dos assuntos alvo de avaliação, este capítulo encontra-se dividido nas seguintes secções:

Comunicação Bluetooth: descrição da comunicação entre o computador e o autómato;

Software de Controlo: análise do programa utilizado para efetuar o controlo da Mesa Hidráulica Móvel;

Software de Supervisão: exposição da aplicação desenvolvida que serve de interface amigável entre o homem e a máquina.

Finalizado o software de controlo e comando está-se na condição de realizar testes ao funcionamento e aos procedimentos desenvolvidos.

5.1 Comunicação

A comunicação entre o computador e o autômato realiza-se por *bluetooth*. Como tal, está instalada no veículo uma antena (modelo VW3A8114 da *Telemecanique*), que por ser da *Schneider Electric*, é compatível com o autômato, e encontra-se conectada ao mesmo pela porta RS-232.

O computador possui uma caneta *bluetooth* da marca *Trust*, já instalada e configurada.

Sendo assim, não há a necessidade de ter o veículo perto do computador para efeitos de programação do autômato, facilitando assim a transferência de dados. Para além disso permite que o controlo remoto do protótipo se faça sem fios num raio de algumas dezenas de metros.

Com esta tecnologia já instalada e em funcionamento a comunicação do autômato com o *TwidoSuite* e o *Vijeo Citect* realiza-se através de uma porta série virtual COM6.

De seguida, neste capítulo, falar-se-á da configuração do *TwidoSuite*, utilizado para programar o autômato, e da configuração do *Vijeo Citect*, usado como interface HMI.

5.2 Software de Controlo

O software utilizado para a programação do autómato é o *TwidoSuite*, fig.Fig. 5.1, que apresenta algumas vantagens relativamente ao *TwidoSoft* utilizado anteriormente para programar o autómato. Ambos são da *Schneider Electric* e são as atuais ferramentas para programação do autómato utilizado, o *Twido*.

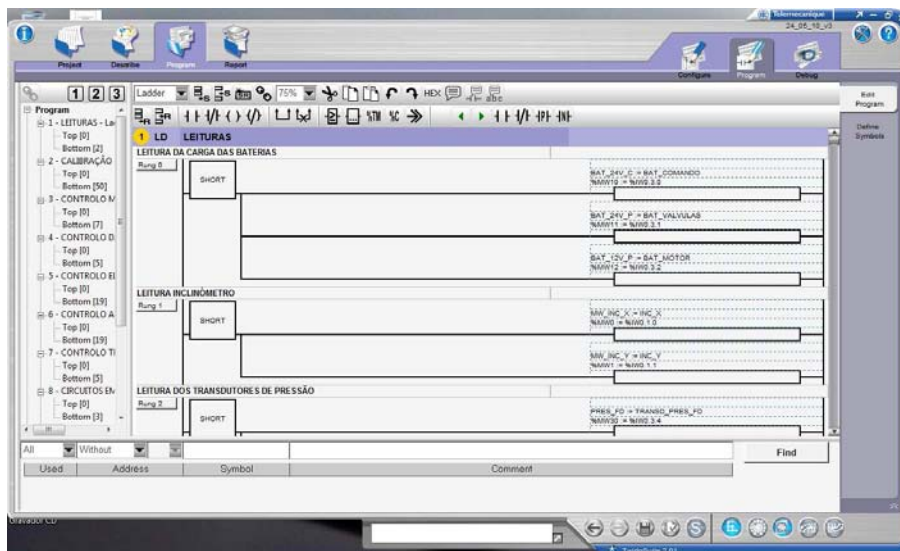


Fig. 5.1 - Programação Ladder no *TwidoSuite*

Este software permite programar em *Grafcet*, *Ladder* e *Statement List*., e permite alternar entre cada um destes modos de programação em qualquer momento, ou seja, são compatíveis entre si. Estando mais familiarizado com a programação em *Ladder*, esta foi a escolhida pelo autor para elaborar o programa de controlo do veículo.

O *TwidoSuite* tem uma interface gráfica mais apelativa que o *TwidoSoft* e permite ainda dividir o programa em secções, de modo a ser mais fácil a organização da escrita do código e a pesquisa de informação no mesmo.

O aspeto a ter em atenção na transferência e/ou *debug* do programa elaborado, consiste na seleção da porta série virtual criada COM6 quando se pretende fazer a ligação entre o computador e o autómato, sem a qual não era possível estabelecer a comunicação.

Não se poderia passar à implementação das novas funcionalidades de controlo no veículo, nomeadamente à condução autónoma, sem antes perceber o que estava implementado.

Após o estudo do *software* implementado, decidiu-se, à partida, ser mais interessante controlar os atuadores por referências de posição (em malha fechada de posição), processo que não era realizado anteriormente. Optou-se também por alterar o processo de calibração

dos transdutores presentes nos cilindros de elevação, articulação e direção, processo de importância crítica, já que a correta articulação do veículo depende da consistência entre as diversas medições

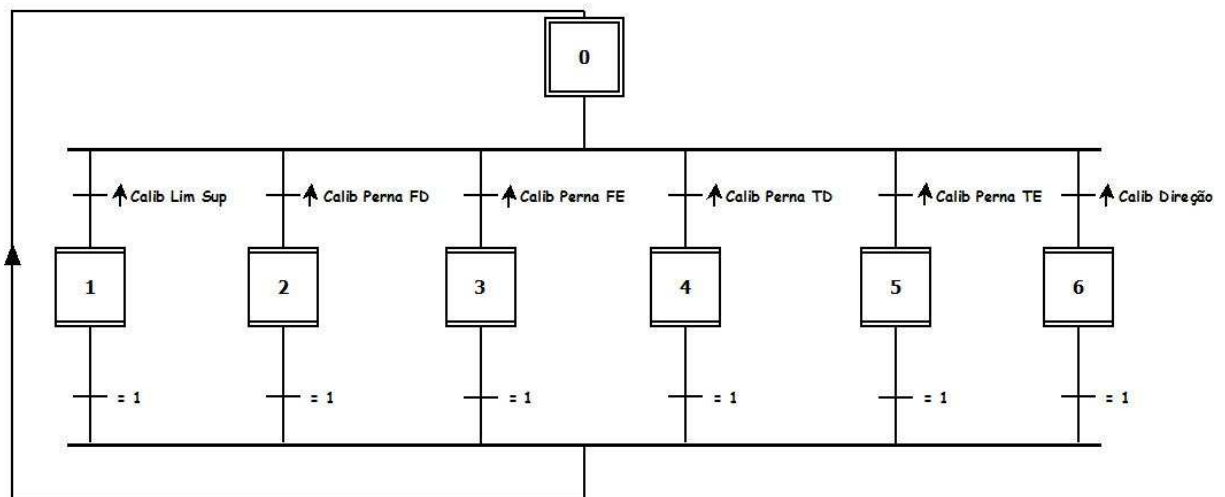
O *software* implementado permitia atuar cada cilindro individualmente, avançá-lo e recuá-lo. Permitia ainda subir e descer a mesa através do controlo da altura média desejada. Podia-se alterar a inclinação lateral e transversal da mesa para o valor desejado, tendo o operador acesso às leituras do deslocamento dos vários atuadores, da posição da direção e da pressão em cada perna. O processo de calibração da elevação e da articulação era realizado com os atuadores na sua posição mais avançada. Era ainda permitido calibrar a direção, a carga e o inclinómetro.

5.2.1 Estratégia Implementada

Pretende-se agora desenvolver o novo *software* de controlo de uma forma estruturada, de maneira a conseguir as funções de nível superior a partir da interligação de funções modulares de nível inferior.

Essa forma estruturada terá de ter em consideração também os diversos modos de funcionamento do veículo, visto que as funções ficarão disponíveis, consoante o modo de funcionamento escolhido. O modo de funcionamento está associado e será ativado pela aplicação de comando remoto e supervisão que irá ser criada.

Sendo assim o primeiro algoritmo de controlo criado permite calibrar os transdutores dos atuadores da elevação, da articulação e da direção. Esse procedimento realiza-se levando esses atuadores até aos seus limites físicos. Pode ser observado na Fig. 5.2 e será descrito em detalhe no capítulo 6.



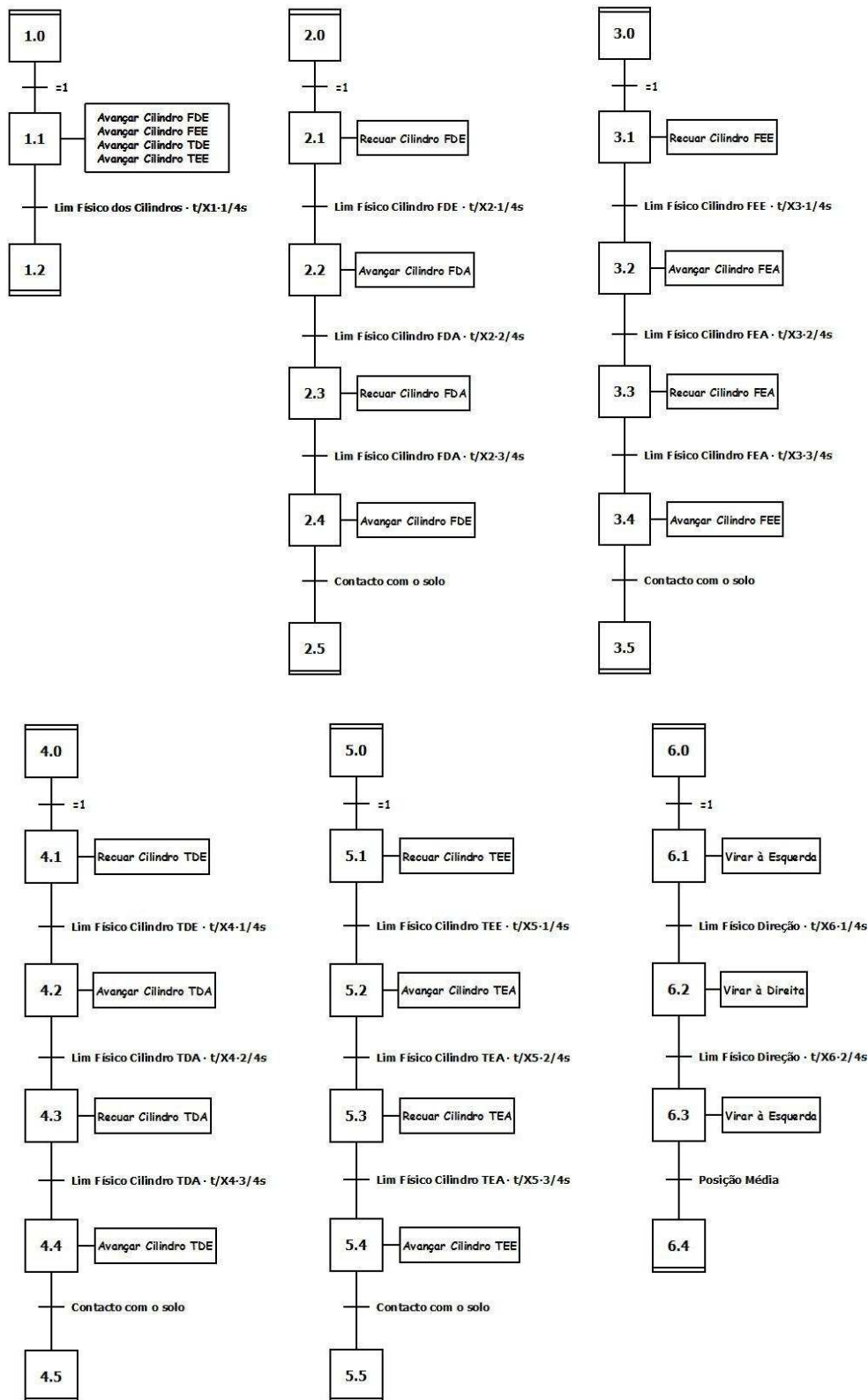


Fig. 5.2 - Grafcet de controlo do processo de calibração

Com o processo de calibração concluído passou-se para a programação do algoritmo de controlo responsável por controlar os atuadores por referências de posição. Deseja-se controlar os atuadores da elevação, da articulação e da direção dessa forma.

Como só existe uma central hidráulica e o caudal é distribuído por um divisor de caudal de forma igual para cada um dos cinco sub-circuitos, a velocidade não poder ser controlada individualmente para cada um dos vários atuadores simultaneamente, pelo que a velocidade será maior se a diferença entre a referência e a posição atual for maior do que 5% do curso do atuador, e terá uma velocidade menor quando a diferença entre a referência e a posição for menor do que 5%, permitindo que este tenha uma velocidade de aproximação menor e não ultrapasse a referência pedida, podendo resultar num comportamento instável.

Sendo assim, é garantida a velocidade mínima, caso a diferença entre a referência e a posição de um atuador seja menor do que 5%. Assim que atinja a referência e pare, a velocidade ajusta-se caso haja necessidade de mover mais algum atuador, quer este esteja a mais ou menos do que 5% da referência pedida.

Em suma, consegue-se mover os atuadores com velocidade variável, consoante a diferença entre a posição pedida e a posição que tiver num dado instante, e conforme haja necessidade de mover só um atuador ou vários. A prioridade será dada aos atuadores da elevação, visto que o veículo pode estar numa posição instável e tenha necessidade de se ajustar para se equilibrar, seguido dos atuadores da translação e finalmente a direção.

O passo seguinte consistiu na implementação do algoritmo responsável por controlar a altura da mesa. Quando a altura desejada for superior à altura média será dada a ordem de subida, ou seja, será dada a ordem para os quatro atuadores da elevação avançarem. Assim como, quando a altura desejada for inferior à altura média os mesmos atuadores irão recuar. O princípio de funcionamento é ilustrado pela Fig. 5.3.

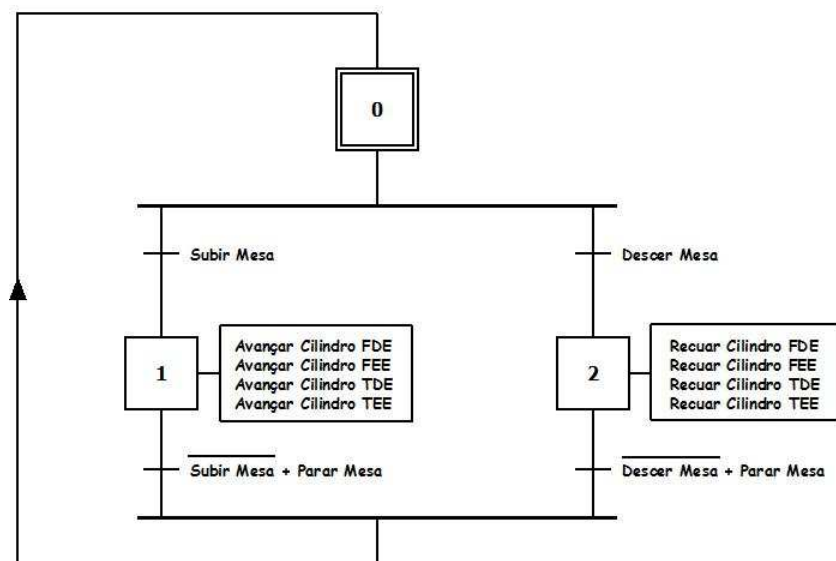


Fig. 5.3 - Grafcet de controlo da altura média da mesa

Para funcionar corretamente foi necessário introduzir uma margem de erro (histerese), devido às válvulas utilizadas serem do tipo *on/off*, caso contrário elas comutariam ininterruptamente originando um comportamento anômalo e instável do veículo.

O algoritmo de controlo da inclinação da mesa programado, Fig. 5.4, responde às alterações de inclinação da mesa, ordenadas pelo operador ou devido a desníveis no pavimento, avançando e recuando os atuadores necessários a repor a inclinação transversal e a lateral nos valores pedidos.

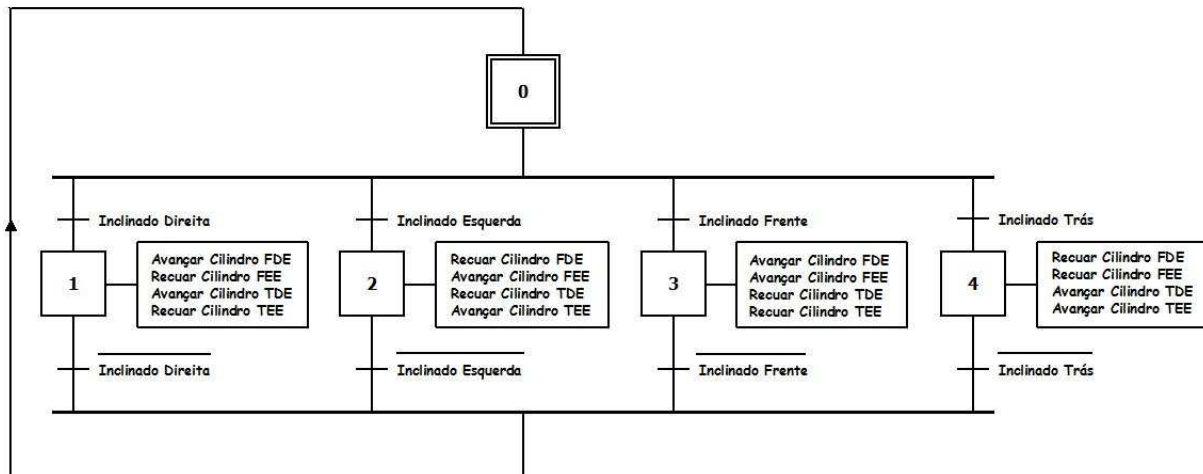


Fig. 5.4 - Grafset de controlo da inclinação da mesa

Como medida de segurança foi necessário limitar a inclinação lateral da mesa, visto que o protótipo pode-se desequilibrar, originando a queda do mesmo. Sendo assim o movimento dos atuadores da elevação e da direção, está condicionado pela inclinação lateral e pode ser bloqueado como se pode ver no esquema da Fig. 5.5.

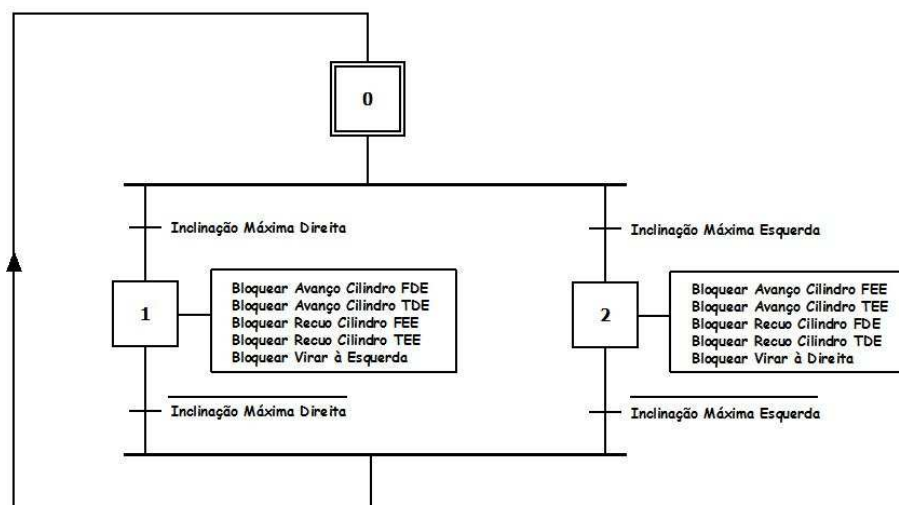


Fig. 5.5 - Limitações com a inclinação lateral máxima

Tendo em vista a implementação da condução autónoma no protótipo passou-se para o controlo da translação do veículo segundo o esquema da Fig. 5.6.

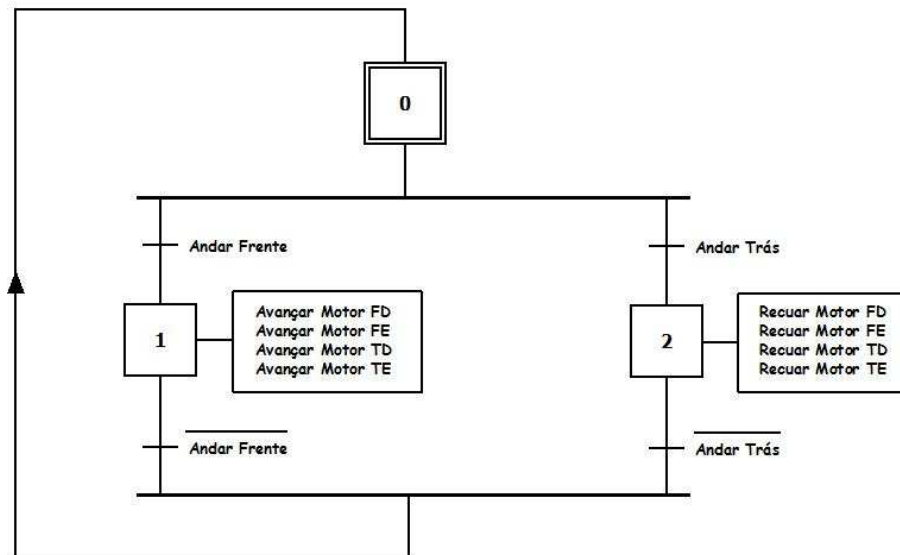
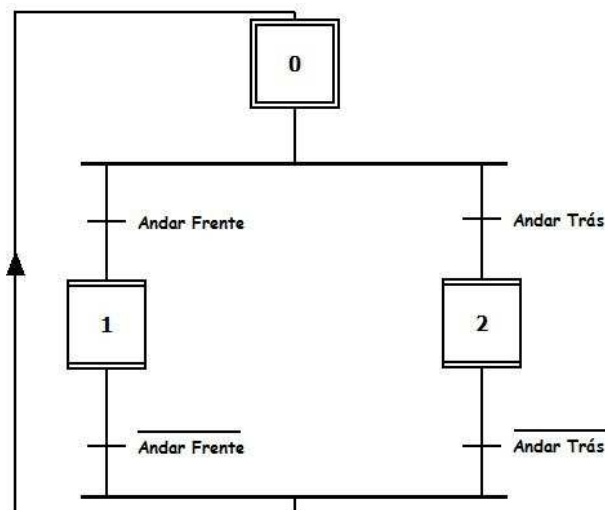


Fig. 5.6 - Grafcet de controlo dos motores hidráulicos

Verificou-se que, quando o veículo se encontra perto da sua amplitude máxima da direção, quer à esquerda ou à direita, se tiver todos os motores a realizar a tração do veículo, como estes têm velocidades iguais, o veículo perde capacidade de manobra levando a que faça curvas com um raio maior que o esperado. Como tal, sempre que o veículo se encontre virado para um dos lados os motores das rodas que fiquem mais afastados do centro da curva serão libertados, ficando as rodas livres. Apesar da perda de binário resultante, os benefícios ganhos em capacidade de manobrabilidade são superiores.

Além de um modo de condução manual foi disponibilizado também, como seria expectável, o modo de condução autónoma. Permite ao veículo seguir a trajetória definida no pavimento a partir da informação fornecida pelos sensores.



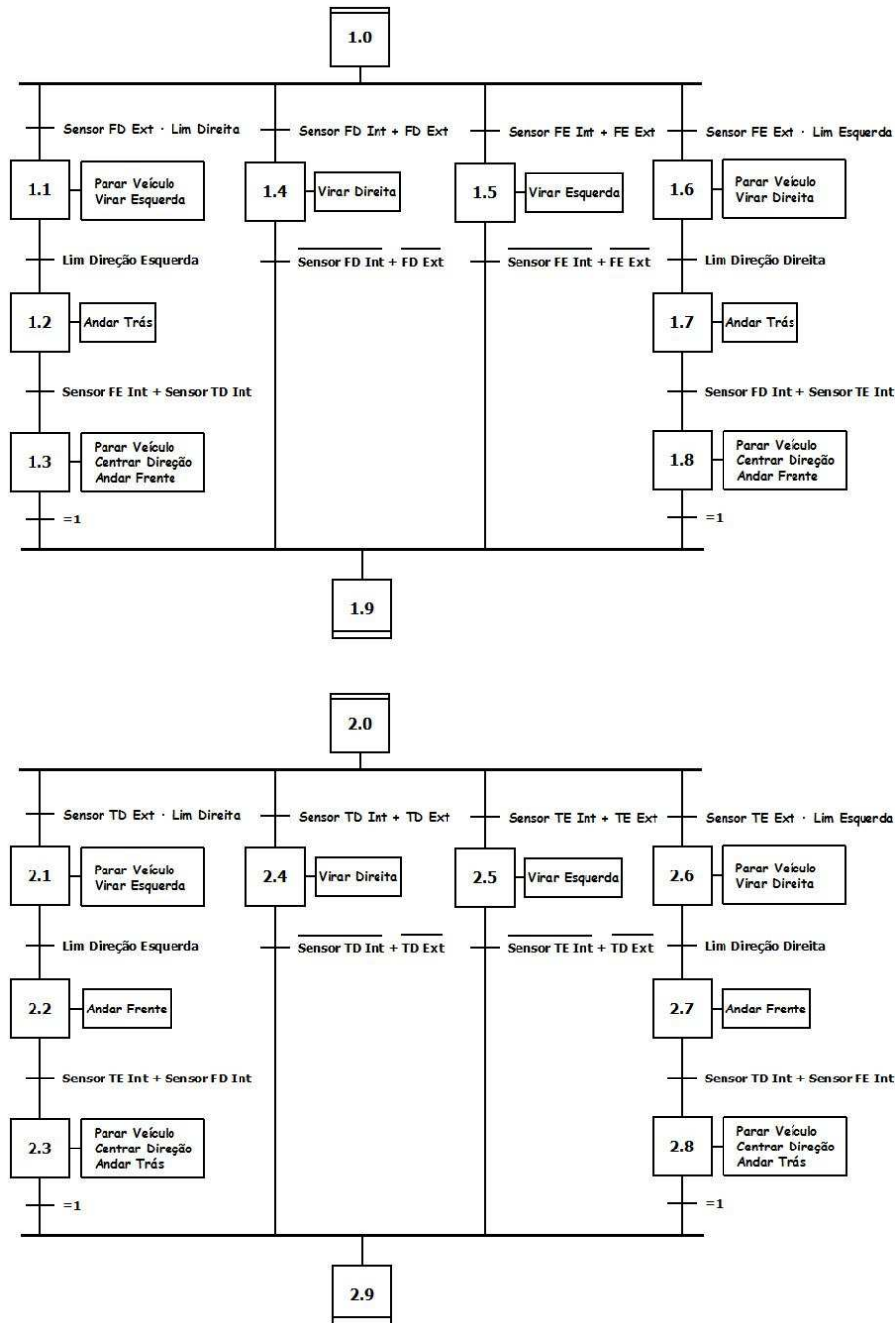


Fig. 5.7 - Grafset de controlo do modo de condução autónoma

Como se pode observar pelo esquema da Fig. 5.7 a deteção da fita por parte dos sensores ordena quando e para que lado o veículo deve virar. Os sensores exteriores, ou seja, os mais afastados da fita, consoante a posição da direção indicam principalmente se o veículo vai conseguir descrever a trajetória ou não. No caso de o raio de curvatura da curva ser menor do que o veículo pode descrever, este terá necessidade de manobrar. Essa manobra passa pelo veículo parado, virar a direção até ao extremo oposto da curva, inverter o sentido do deslocamento até receber nova informação dos sensores opostos. De seguida imobiliza-se novamente, ajusta a direção e segue no sentido escolhido. Com esta capacidade de manobrar o

veículo ganha bastante flexibilidade e capacidade de descrever trajetórias com raios de curvatura menores do que os do veículo.

O último modo de condução implementado permite a condução remota do veículo. Neste modo de condução o operador define se quer que o veículo se desloque para a frente ou para trás. Pode parar o veículo sempre que achar conveniente e pode também definir a posição da direção numa gama de 100% à esquerda até 100% para a direita, com o veículo parado ou em movimento.

Como modo de poupar bateria, o motor elétrico do veículo desliga-se passado poucos segundos, sempre que o veículo não esteja em funcionamento. Consegue-se assim um aumento considerável do tempo de duração das baterias de acionamento do motor elétrico.

O protótipo possui ainda, como mecanismo de segurança, a capacidade de o motor elétrico se desligar automaticamente sempre que se verifique a falha de ligação, ou esta demorar mais de dois segundos, entre o autómato e aplicação SCADA criada. Sendo assim evita-se que, estando o veículo a efetuar algum movimento, ocorra algum acidente devido ao operador ficar sem comando sobre o veículo por falha de ligação.

Finalizada a implementação das várias funções descritas nesta secção dá-se por terminada a programação do autómato e iniciou-se a concepção e desenvolvimento da interface HMI.

5.3 Software de Supervisão

O software de supervisão utilizado para controlar o veículo é o *Vijeo Citect*, como já foi referido anteriormente. Este programa já era utilizado para esse efeito.

Após um primeiro contacto com o programa, visto o autor nunca ter utilizado um programa de supervisão, e após realizar um tutorial para se familiarizar com as funcionalidades e particularidades que a utilização de um programa deste requer, foram iniciadas as configurações do programa, de modo a poder realizar uma aplicação para o comando remoto da Mesa Hidráulica Móvel.

No começo de cada nova aplicação é necessário configurar vários parâmetros sem os quais o funcionamento da mesma não é possível.

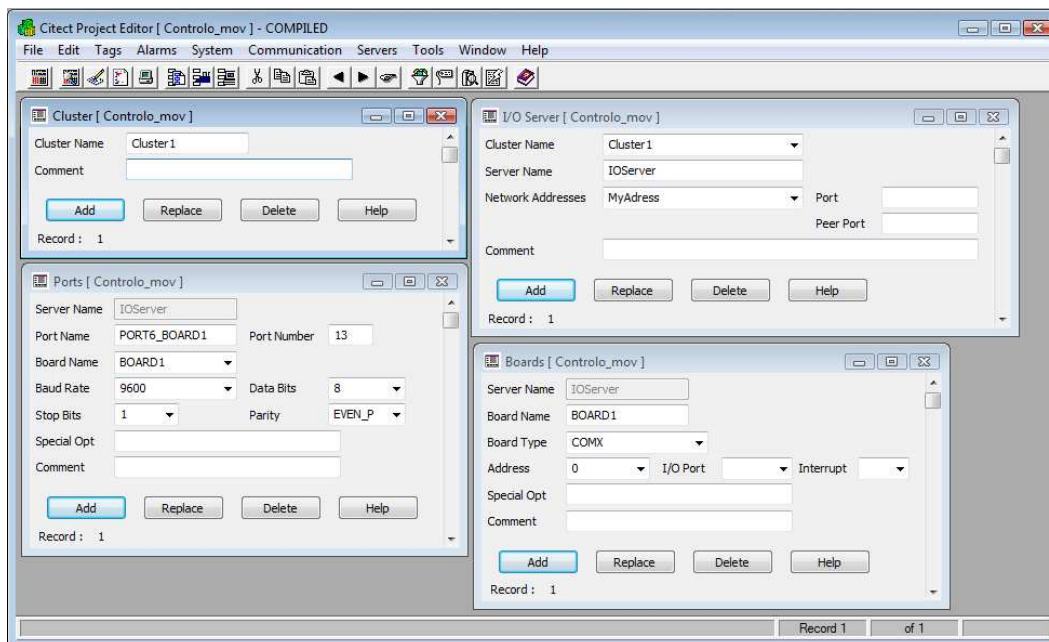


Fig. 5.8 - Configuração dos parâmetros iniciais

Como se pode ver na Fig. 5.8, após a definição e escolha desses parâmetros, as configurações iniciais do *Vijeo Citect* estão quase concluídas, faltando apenas a configuração do dispositivo de entradas e saídas, como se pode ver na Fig. 5.9.



Fig. 5.9 - Configuração do dispositivo I/O no Vijeo Citect

De seguida iniciou-se o desenvolvimento da interface gráfica. Foi decidido à partida dividir a aplicação em três páginas principais:

Página de Calibração: uma página destinada aos procedimentos de calibração do veículo;

Página de Controlo Manual: nesta página será dada a possibilidade de controlar individualmente os movimentos do veículo;

Página de Condução: nesta página será dada a possibilidade ao operador de conduzir o veículo num de três modos de condução;

De seguida, neste capítulo, serão apresentadas em detalhe as diversas funcionalidades que estão distribuídas nas várias páginas da aplicação.

5.3.1 Página de Calibração

Esta foi a primeira página a ser desenvolvida e permite a calibração dos transdutores presentes nos cilindros da elevação, articulação e da direcção, segundo os procedimentos enumerados no capítulo seguinte. Na Fig. 5.10 é possível ver a interface gráfica desenvolvida.

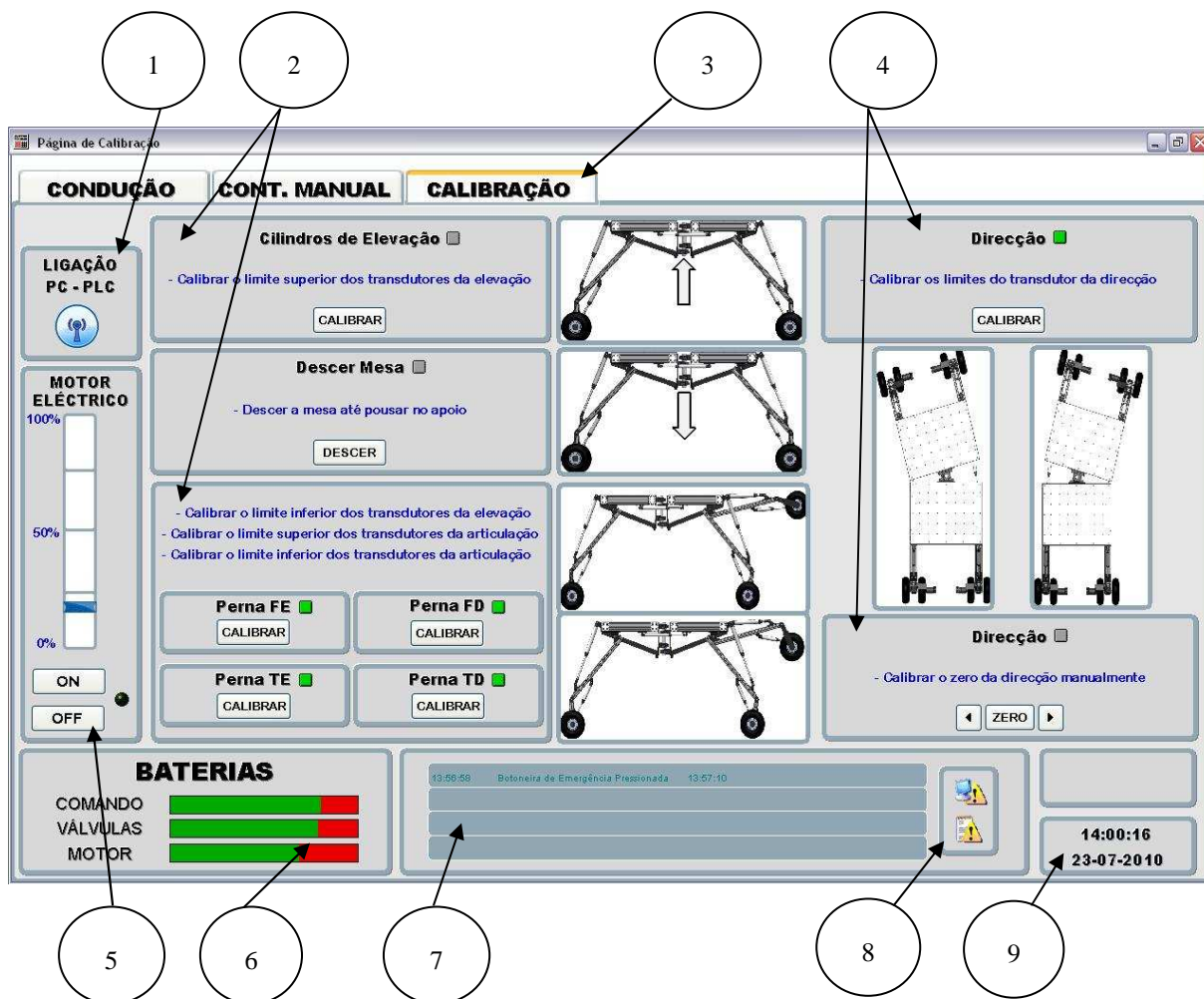


Fig. 5.10 - Página de Calibração da aplicação SCADA

De modo a se obter uma melhor compreensão das funções existentes nesta página, estas serão agrupadas na Tabela 2 e descritas em pormenor logo de seguida.

Tabela 2 - Funções na Página de Calibração (identificação dos campos)

Nº	Função
1	• Ligação PC – PLC
2	• Calibrar Transdutores da Elevação e Articulação
3	• Seleção do Modo de Funcionamento
4	• Calibrar Transdutor da Direção
5	• Controlar o Motor Elétrico
6	• Carga das Baterias
7	• Sumário de Alarmes
8	• Controlo de Alarmes
9	• Dia e Hora

Todas as três páginas principais da aplicação dispõem de informação e de algumas funções comuns entre elas, pelo que, no item 3 é possível alternar entre as várias páginas da aplicação clicando sobre as várias *tabs*, tendo-se a informação de qual a página que está selecionada no momento através do aparecimento de uma barra amarela sobre a tabulação. O operador pode ver também:

- a carga restante dos três grupos principais de baterias (item 6);
- visualizar os alarmes ativos no momento (item 7);
- fazer o reconhecimento de alarmes e aceder a uma página *popup* que contém uma lista com o resumo de alarmes no item 8;
- ligar, desligar e variar a velocidade do motor elétrico (item 5);
- ter informação da existência, ou não, de ligação entre a aplicação e o veículo (item 1);
- pode ver ainda o dia e a hora atuais no item 9.

Particularmente só nesta página, é ainda possível, dar início aos procedimentos de calibração dos transdutores dos cilindros da elevação e da articulação (item 2) e do transdutor da direção (item 4). A execução de um procedimento impossibilita o início de outros até esse estar terminado. Contudo esses procedimentos serão abordados com mais detalhe no capítulo seguinte.

5.3.2 Página de Controlo Manual

A segunda página da aplicação a ser desenvolvida foi a “Página de Controlo Manual”. Foi criada com o objetivo principal de permitir ao operador controlar o veículo manualmente para efeitos de manutenção, teste ou para abordagem manual a possíveis obstáculos. Na Fig. 5.11 é possível observar a interface gráfica criada.

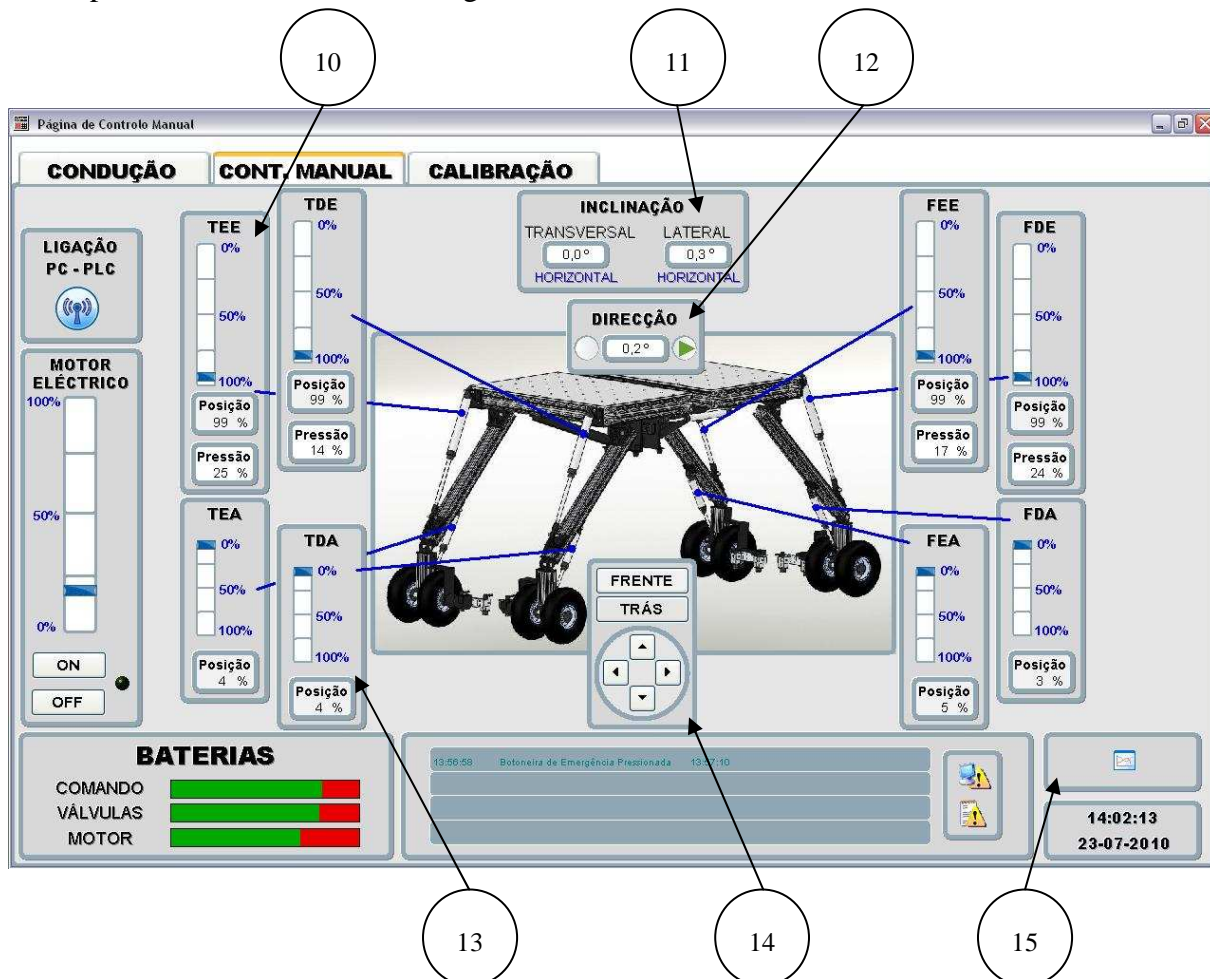


Fig. 5.11 – “Página de Controlo Manual” da aplicação SCADA

Além da informação e das funções comuns disponibilizadas pelos itens 1,3,5,6,7,8 e 9, descritos anteriormente, dispõe ainda de mais funções que serão enumeradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Funções na “Página de Controlo Manual”

Nº	Função
10	• Controlo dos Cilindros da Elevação
11	• Leitura da Inclinação
12	• Leitura da Direção
13	• Controlo dos Cilindros da Articulação
14	• Controlo da Translação e da Direção
15	• Página de Gráficos

No item 10 é possível controlar a posição dos atuadores da elevação por referências de posição. Sabemos que atuador está a ser controlado quer pela abreviatura do nome que está indicada, quer pela seta de ligação à figura do veículo. Nesse item está disponível ainda a leitura da posição do atuador em percentagem do seu curso e a pressão nessa perna.

A leitura da inclinação transversal e lateral do veículo pode ser vista no item 11, bem como, para que lado é que o protótipo está inclinado.

O item 12 dá-nos a leitura do valor da direção, indicando também se o protótipo está virado à direita ou à esquerda através de setas.

O controlo da posição dos cilindros da articulação é feito individualmente para cada atuador no item 13. Como para os cilindros da elevação, está indicado o nome do atuador bem como este está ligado por uma seta à figura do veículo.

Com o item 14 temos a possibilidade de controlar a direção e o movimento de translação do veículo. Esses movimentos só se efetuam durante a atuação dos botões pelo operador. Os botões “FRENTE” e “TRÁS” disponíveis neste item dão ao operador a possibilidade de trocar os comandos caso esteja a ver o veículo de frente ou de trás respetivamente.

O item 15 possibilita ao operador aceder à página de gráficos da aplicação.

5.3.3 Página de Condução

A “Página de Condução” foi a terceira página da aplicação a ser criada. Pretende-se nesta página ter controlo sobre funções diferentes das disponibilizadas nas outras páginas, pelo que é possível realizar funções mais globais, tais como:

- regular a inclinação da mesa;
- ajustar a altura da mesa;
- conduzir o veículo num dos três modos de condução disponibilizados.

Pode-se ver a interface gráfica desenvolvida na Fig. 5.12.

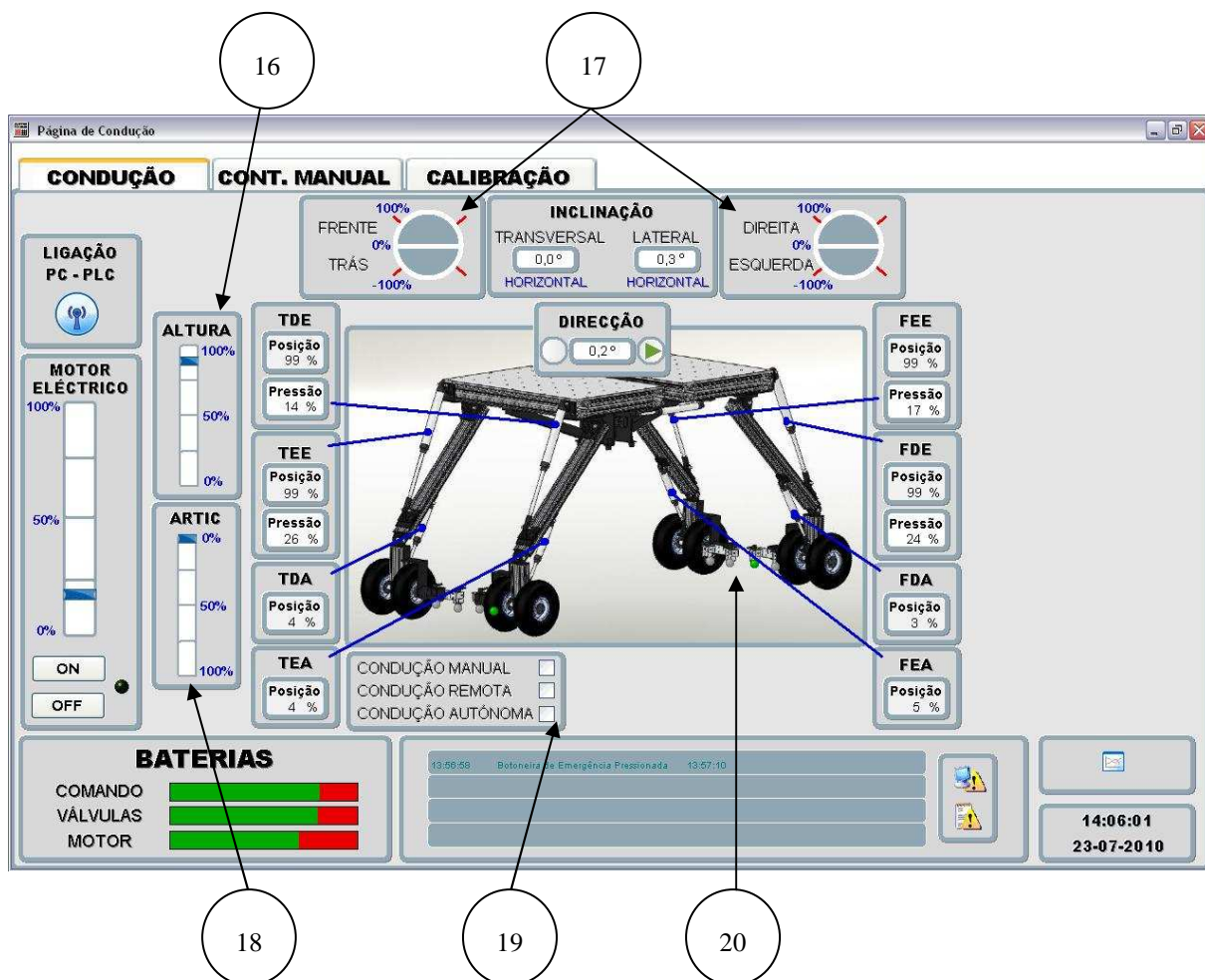


Fig. 5.12 – “Página de Condução” da aplicação SCADA

Realça-se desde já os itens que se mantiveram comuns às três páginas principais e que foram referidos anteriormente. Sendo assim, de seguida será feita uma análise das novas funções acessíveis e que se encontram enumeradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Funções na “Página de Condução”

Nº	Função
16	• Controlo da Altura Média da Mesa
17	• Controlo da Inclinação da Mesa
18	• Controlo da Articulação
19	• Seleção do Modo de Condução
20	• Indicação dos Sensores Óticos

No item 16 o operador pode controlar a altura média desejada para a mesa, dentro dos limites previstos.

A possibilidade de controlar a inclinação transversal e lateral da mesa está acessível no item 17, dentro dos limites previstos.

Com o controlo da articulação (item 18) o operador pode controlar a referência de posição para as quatro articulações em simultâneo.

No item 19 é possível escolher em que modo de condução se deseja operar o veículo. A escolha do modo faz-se por seleção das caixas que se encontram em frente ao nome do respetivo modo e não é possível ter mais do que um modo ativo ao mesmo tempo.

O “modo de condução manual” é, efetivamente, igual ao da página de controlo manual e já foi descrito anteriormente. Na Fig. 5.13 é possível ver a página de condução quando tem esse modo selecionado. Foi colocado também nesta página para o caso de haver necessidade de se fazer ajustes ao posicionamento do veículo, não tendo para isso que se mudar de página.

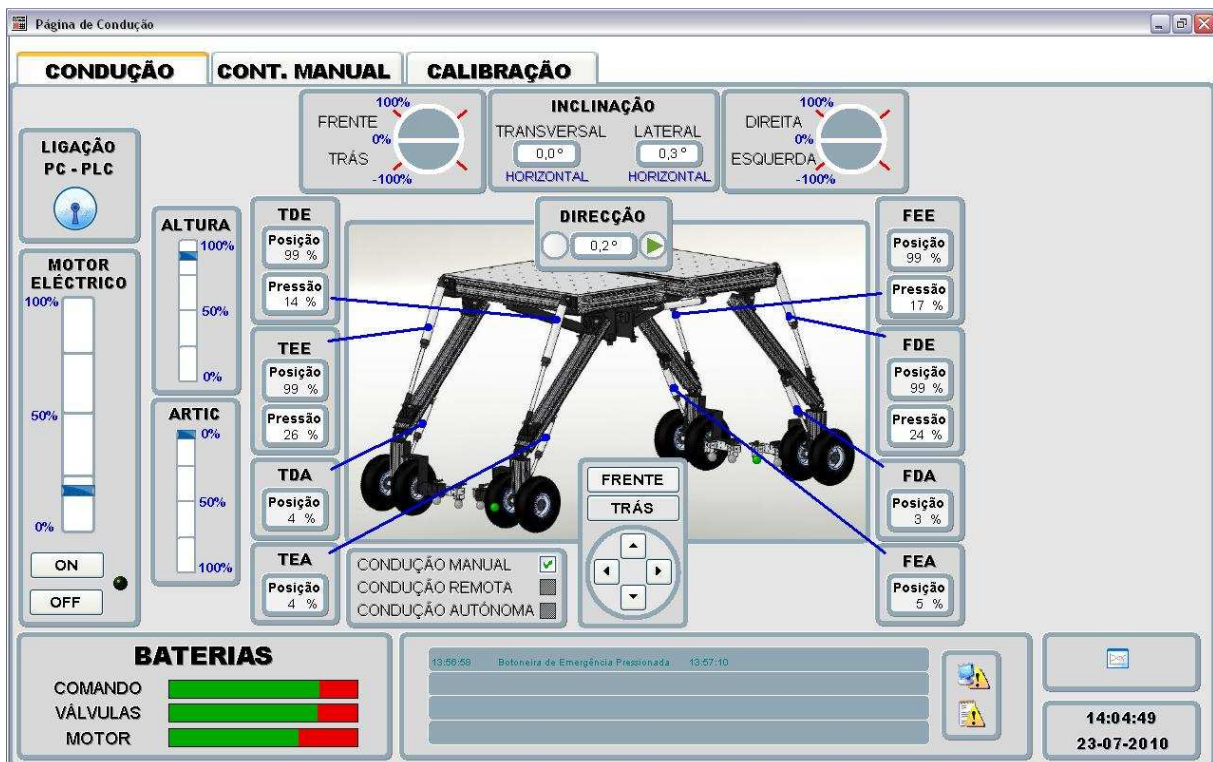


Fig. 5.13 - Página de Condução – “Modo de Condução Manual”

No “modo de condução remota” é possível escolher o sentido do movimento (frente ou trás), parar o veículo e controlar a direção por referências de posição, entre 100% para a esquerda e 100% para a direita. É possível observar na Fig. 5.14 a página de condução com o modo de condução remota ativo.

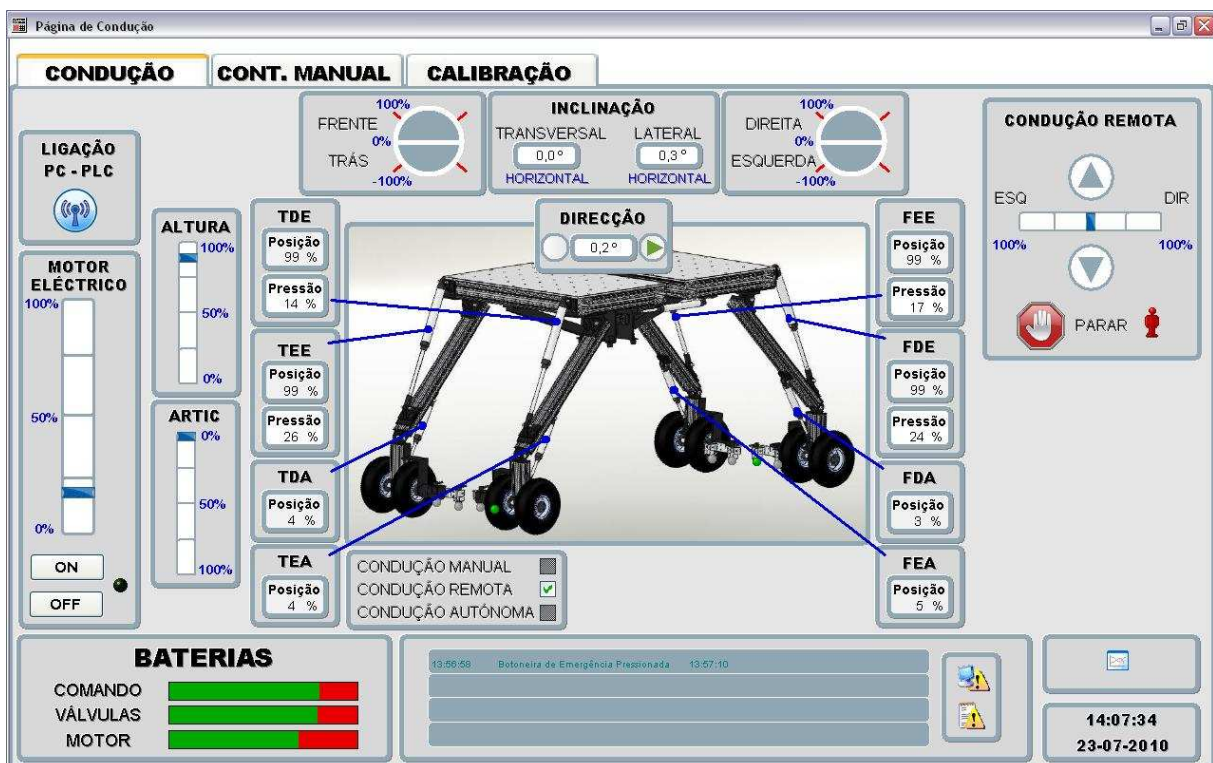


Fig. 5.14 - Página de Condução – “Modo de Condução Remota”

No “modo de condução autónoma”, Fig. 5.15, é possível escolher o sentido do movimento (frente ou trás) e parar o veículo. Não é possível trocar o sentido sem antes retirar o que estava previamente seleccionado. O operador é avisado, através de um sinal luminoso, sempre que o veículo se esteja a movimentar para a frente ou para trás.

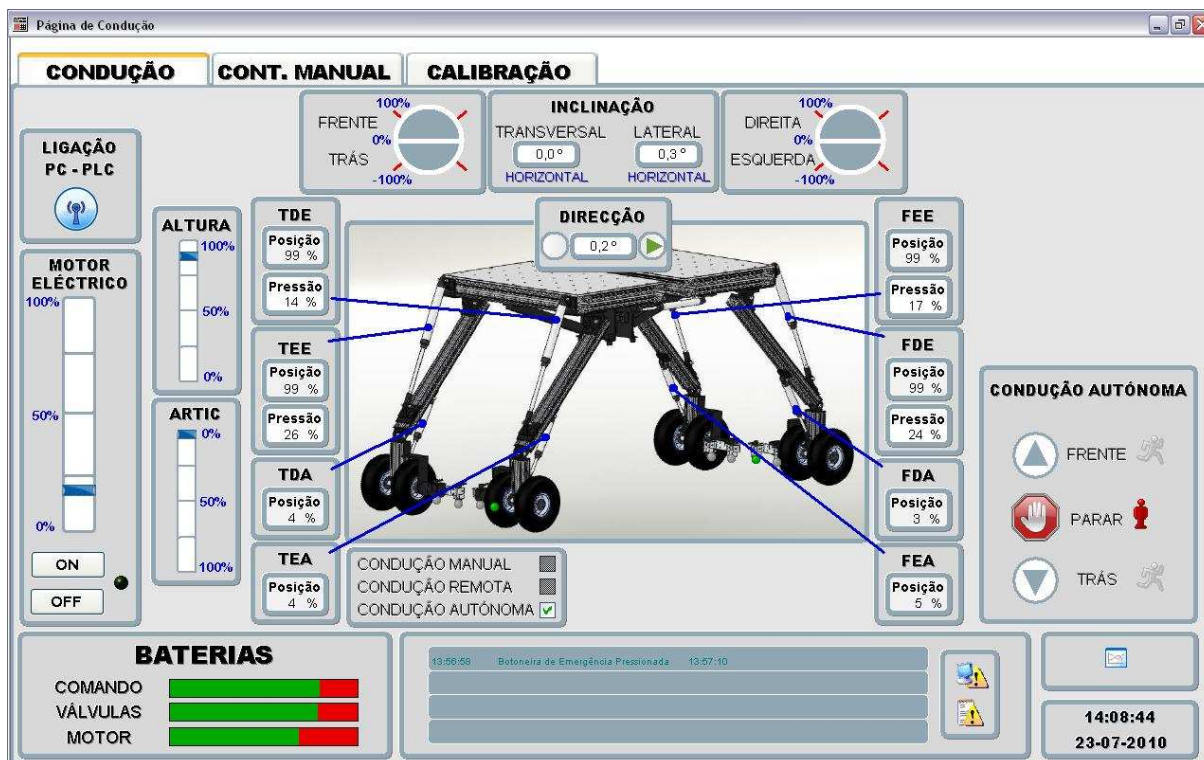


Fig. 5.15 - Página de Condução – “Modo de Condução Autónoma”

No item 20 (Fig. 5.12) podemos saber que sensores estão ou não ligados. É particularmente útil quando estamos no modo de condução autónoma pois, além de serem fundamentais para este modo de condução, permitem informar o operador mesmo que este se encontre afastado do veículo.

5.3.4 Página do Resumo de Alarmes

A partir de todas as páginas é possível aceder à página de Resumo de Alarmes onde é apresentado um resumo dos vários alarmes que foram acionados durante a utilização do protótipo. É possível ver na Fig. 5.16 a interface gráfica da página com alguns alarmes ativos.

[illegible]

Fig. 5.16 - Página do Resumo de Alarmes

Foi utilizado um código de cores para facilitar a percepção dos vários estados dos alarmes. Na Tabela 5 pode-se ver o código de cores utilizado.

Tabela 5 - Cores utilizadas no Resumo de Alarmes

Designação	Cor
Alarme Ativo	• Amarelo
Alarme Ativo e Reconhecido	• Verde
Alarme Não Ativo e Reconhecido	• Branco
Alarme Não Ativo e Não Reconhecido	• Castanho

É possível assim saber quando um alarme está ou não ativo, e se foi ou não reconhecido, permitindo através do código de cores, extrair informação da página do resumo de alarmes de uma forma mais fácil.

5.3.5 Página de Gráficos

A partir das páginas de controlo manual e da página de condução é possível aceder à página de gráficos. Esta página permite ao operador extrair mais informações, permitindo-lhe saber, por exemplo, como variou o valor da velocidade do motor elétrico ao longo do tempo sempre que este esteve ligado (Fig. 5.17).

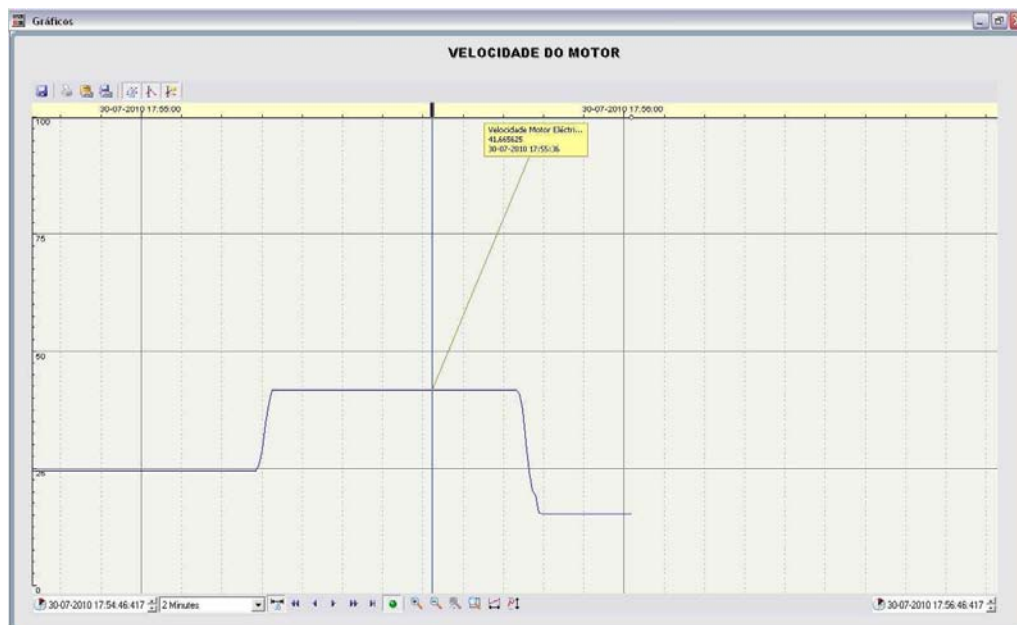


Fig. 5.17 - Página de Gráficos

5.3.6 Configurações

Finalizada a interface gráfica foi iniciada a programação das várias funções descritas até aqui. A primeira ação a fazer foi definir as variáveis do autómato que iriam ser utilizadas pelo *Vijeo Citect*. As variáveis utilizadas são essencialmente digitais ou analógicas. Pode-se ver a configuração destas variáveis nas Fig. 5.18 e Fig. 5.19.



Fig. 5.18 - Configuração de uma variável digital

Para configurar uma variável digital, além de se lhe atribuir o nome que esta vai ter no *Vijeo Citect*, temos de seleccionar o *Cluster* e o *I/O Device* atribuídos no início da configuração do programa e que já foi explicado previamente. Feito isso, é necessário escolher o endereço da variável no autómato e declarar o tipo da variável, que neste caso é digital.



Fig. 5.19 - Configuração de uma variável analógica

Nas variáveis analógicas além da atribuição do nome da variável, do *Cluster* e do *I/O Device*, é preciso também definir o endereço da variável no autómato e declarar o tipo de variável, que neste caso é um inteiro. Nestas variáveis pode-se configurar também uma gama de valores utilizada na escala do autómato e numa escala de engenharia, sendo a interpolação feita automaticamente pelo *Vijeo Citect*.

De seguida procedeu-se à configuração das diferentes funcionalidades gráficas.

Com a escolha e definição do tamanho das páginas iniciou-se, em seguida, a construção das *tabs* que permitem ao operador mudar de página. Para tal foi utilizado o comando *PageDisplay*, como se pode ver na Fig. 5.20.

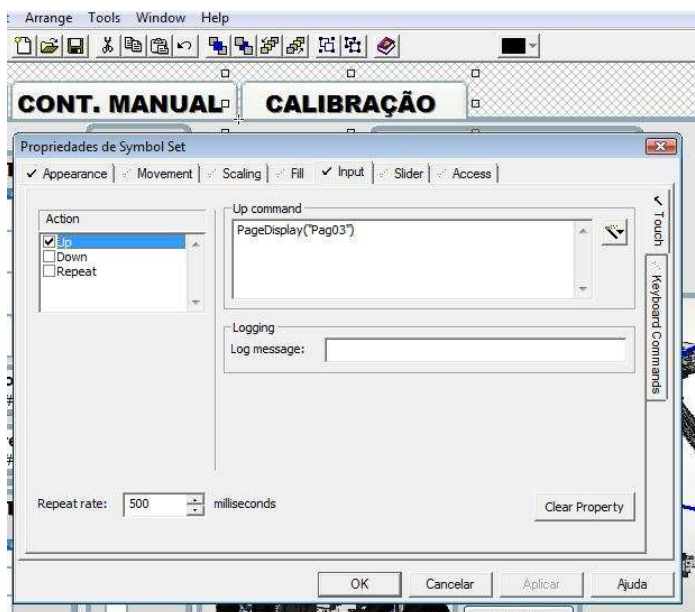


Fig. 5.20 - Configuração das *Tabs* no *Vijeo Citect*

É necessário colocar o nome da página que se deseja, e ao clicar com o rato esta função é ativada, o que se traduz numa mudança para a página pretendida. O processo descrito foi repetido para as restantes páginas.

Com a navegação entre as três páginas acabada, seguiu-se a configuração dos botões utilizados para os mais variados comandos. Na Fig. 5.21 podemos ver o comando associado à atuação do botão, ou seja, a variável definida toma o valor “um” quando o botão se encontra premido.

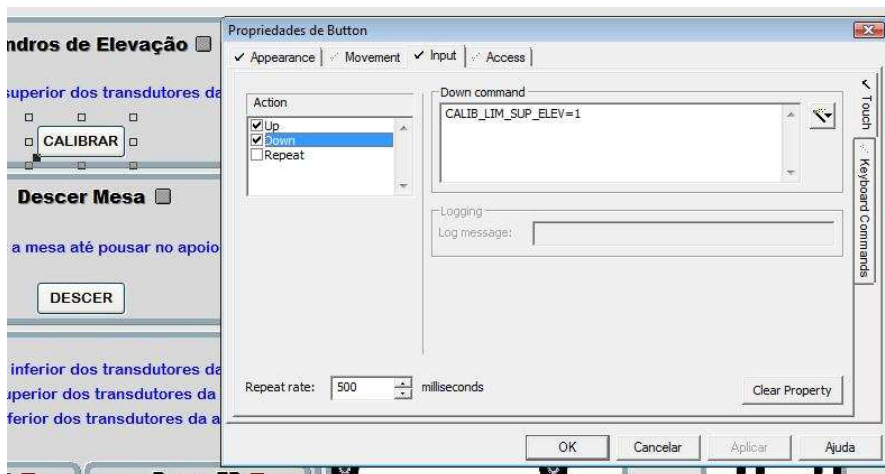
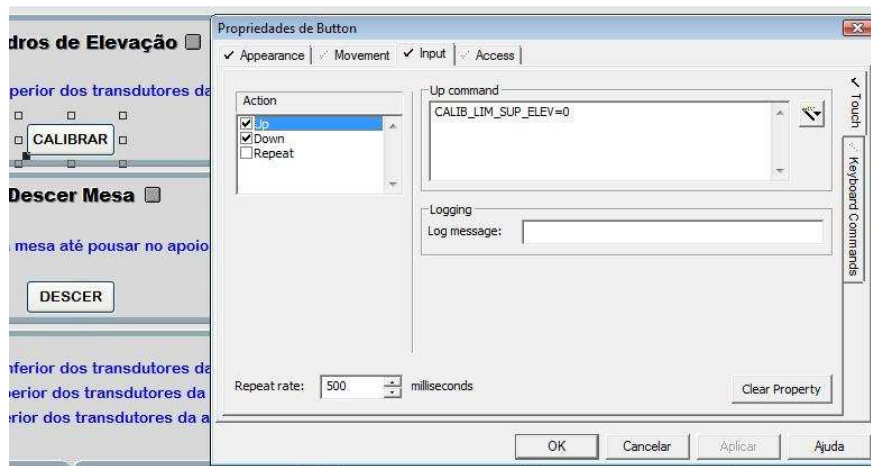


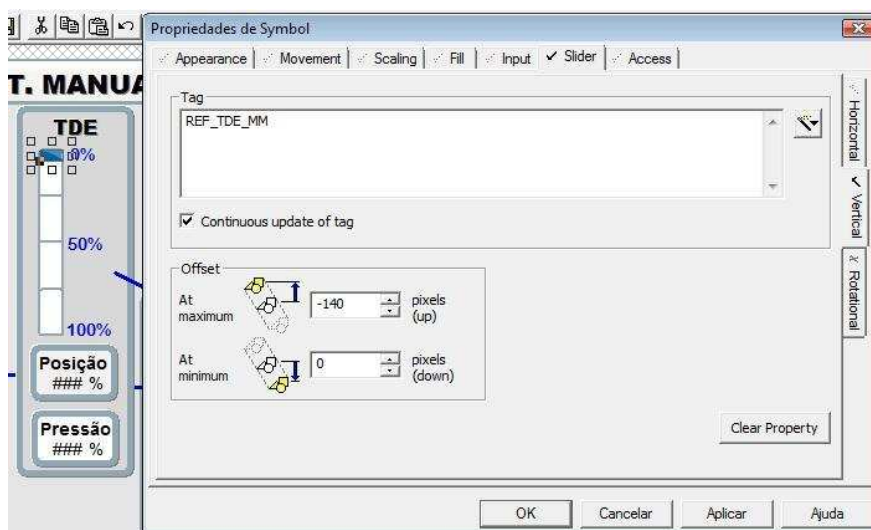
Fig. 5.21 - Configuração dos Botões no *Vijeo Citect* - Down

Após se libertar o botão, a variável toma o valor “zero” como se pode ver na Fig. 5.22.

Fig. 5.22 - Configuração dos Botões no *Vijeo Citect* - Up

Este comando foi repetido em todas as páginas para configurar todos os botões associados ao comando de variáveis digitais.

Para o comando de variáveis analógicas utilizaram-se *sliders* verticais, horizontais e de rotação, devido a ser fácil a sua utilização e a dar a noção da grandeza a controlar de uma forma mais intuitiva. No caso do controlo do curso dos atuadores foram utilizados *sliders* verticais, como se pode observar na Fig. 5.23.

Fig. 5.23 - Configuração de um *Slider* Vertical no *Vijeo Citect*

Além de se definir a variável analógica a controlar é necessário definir também a posição máxima e mínima do *slider*. A interpolação para outras posições é feita automaticamente pelo *Vijeo Citect*.

Foi utilizado um *slider* horizontal para controlar a direção do veículo por referências de posição. Como se pode ver na Fig. 5.24 a configuração do mesmo é em tudo semelhante à do *slider* vertical.

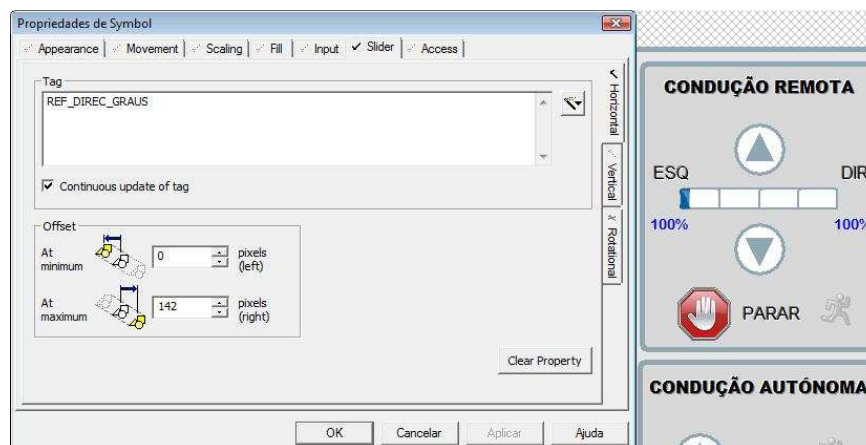


Fig. 5.24 - Configuração de um *Slider* Horizontal no *Vijeo Citect*

Contudo, viu-se ser particularmente interessante utilizar *sliders* de rotação para o controlo da inclinação transversal e lateral do veículo, tornando mais intuitiva a utilização do comando. Na Fig. 5.25 é possível ver a configuração do *slider* de rotação.

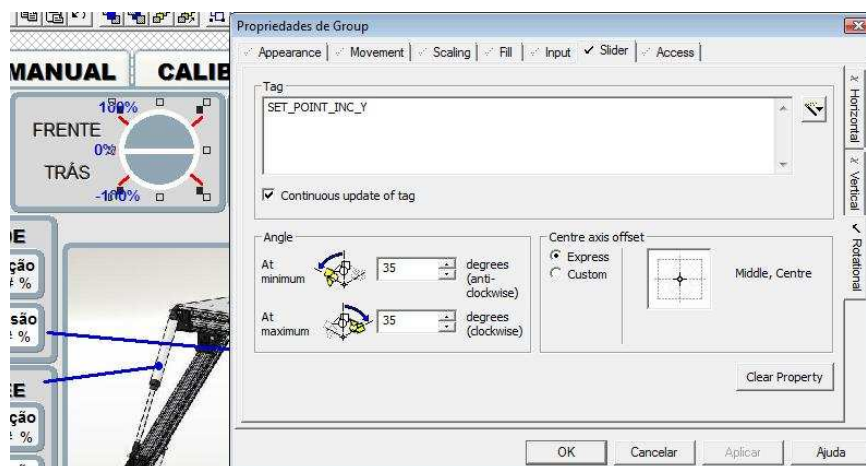
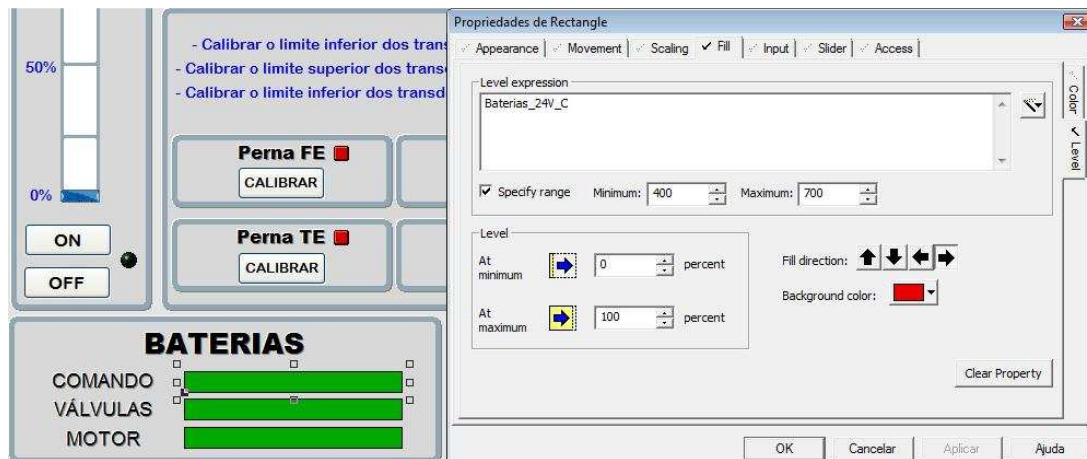


Fig. 5.25 - Configuração de um *Slider* de Rotação no *Vijeo Citect*

Neste caso temos de definir o ângulo máximo e mínimo, bem como o centro de rotação do *slider*.

Finalizada a configuração das variáveis digitais e analógicas, passou-se de seguida à configuração da apresentação das leituras.

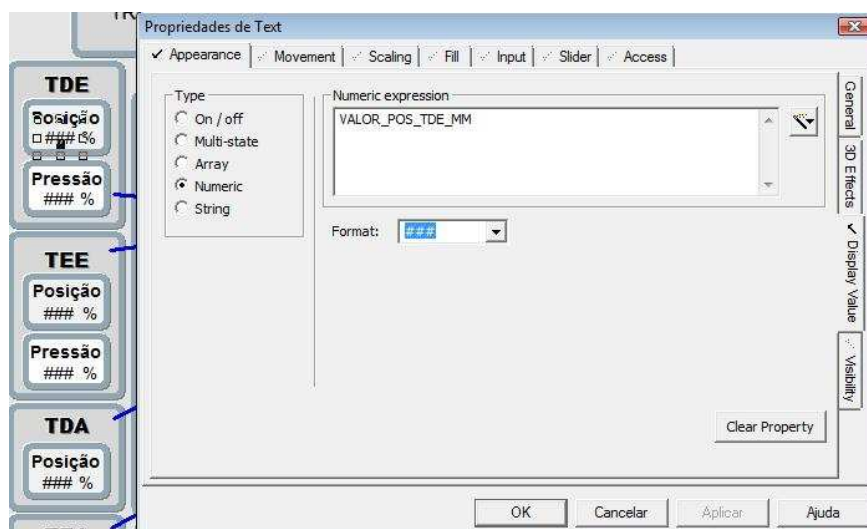
Começando esta análise pela apresentação do valor da carga das baterias, achou-se que para melhor compreensão seria agradável que este valor fosse apresentado sobre a forma de uma barra. Aliás, é a forma mais comum e que pode ser encontrada no equipamento eletrónico mais diverso hoje em dia. Na Fig. 5.26 pode-se observar a configuração do comando utilizado.

Fig. 5.26 - Configuração da Carga das Baterias no *Vijeo Citect*

Começa-se por desenhar um retângulo e escolher uma cor, neste caso o verde. De seguida utilizou-se o comando *Fill*, que nos permite definir a variável analógica a apresentar, especificar o intervalo de valores, o sentido de enchimento e ainda a cor a mostrar como fundo.

Utilizou-se este comando para configurar os três grupos de baterias, variando naturalmente a variável analógica que se pretende apresentar e os seus limites.

Para a apresentação de valores no formato numérico foram inseridas caixas de texto, Fig. 5.27.

Fig. 5.27 - Configuração das caixas de texto no *Vijeo Citect*

Foi utilizada a função *Display Value* e bastou definir a variável analógica a apresentar, defini-la como um valor numérico e especificar o número de algarismos a mostrar.

No caso de algumas variáveis houve necessidade de realizar tratamento de informação e de se proceder à realização de alguns cálculos, pelo que houve a necessidade de criar rotinas em *Cicode*.

O *Cicode* é a linguagem de programação utilizada pelo *Vijeo Citect* e foram criadas rotinas para a configuração de gráficos e para a apresentação de valores. Estas rotinas vão ser descritas já de seguida.

Foi criada uma rotina, Fig. 5.28, para apresentar o valor da inclinação transversal e da inclinação lateral em graus e indicar também se a mesa do veículo se encontra inclinada para a frente, para trás, para a esquerda ou para a direita.

```
FUNCTION
RotinaValores()

// Apresentação dos valores da inclinação

// Inclinação transversal

INT leitura_inc_transversal_aux

IF INC_Y < 253 THEN
    inclinado_tras=1
    inclinado_frente=0
ELSE IF INC_Y > 265 THEN
    inclinado_frente=1
    inclinado_tras=0
ELSE
    inclinado_frente=0
    inclinado_tras=0
END
END

leitura_inc_transversal_aux = Abs (INC_Y - 259)
leitura_inc_transversal = leitura_inc_transversal_aux / 7

// Inclinação lateral

INT leitura_inc_lateral_aux

IF INC_X < 251 THEN
    inclinado_direita=1
    inclinado_esquerda=0
ELSE IF INC_X > 263 THEN
    inclinado_esquerda=1
    inclinado_direita=0
ELSE
    inclinado_esquerda=0
    inclinado_direita=0
END
END

leitura_inc_lateral_aux = Abs (INC_X - 257)
leitura_inc_lateral = leitura_inc_lateral_aux / 6.25
```

Fig. 5.28 - Rotina *Cicode* - Inclinação Transversal e Lateral

Outra rotina foi desenvolvida para indicar se o veículo se encontra virado à esquerda ou à direita, tendo como ponto de comparação o valor do zero da direcção, e pode ser visualizada na Fig. 5.29.

```
// Apresentação dos valores da direcção

IF POS_DIREC < (ZERO_DIREC - 1) THEN
    VIRADO_DIREITA=1
    VIRADO_ESQUERDA=0
ELSE IF POS_DIREC > (ZERO_DIREC + 1) THEN
    VIRADO_DIREITA=0
    VIRADO_ESQUERDA=1
ELSE
    VIRADO_DIREITA=0
    VIRADO_ESQUERDA=0
END
END

POS_DIREC_GRAUS_ABS = Abs (POS_DIREC_GRAUS)
```

Fig. 5.29 - Rotina *Cicode* - Direcção

Existe ainda uma rotina que aciona o veículo quando há ligação entre a aplicação SCADA e o autómato, visto que está desenvolvido um procedimento de segurança no

programa do autômato que manda desligar o veículo de meio em meio segundo, de modo a que este se imobilize quando houver uma falha de comunicação (dispositivo tipo “watchdog”). Pode-se ver essa rotina na Fig. 5.30.

```
FUNCTION
WatchDog_Emerg()

WHILE 1 DO
SleepMS(100);
LIGAR_VEICULO_SEG=1;
END

END
```

Fig. 5.30 - Rotina Cicode - Ligação PC-PLC

A última rotina desenvolvida, Fig. 5.31, permite configurar a página de gráficos apresentada. Não possibilita ao operador aceder às propriedades nem alterar os gráficos que estão a ser visualizados.

```
FUNCTION
Graficos()

OBJECT mhProcessAnalyst;
OBJECT hObjectView;

SleepMS(250);
mhProcessAnalyst = ObjectByName("AN4");

//Desactivar o right-click
_ObjectSetProperty(mhProcessAnalyst, "ContextMenu", 0);

// Desligar o ObjectView
hObjectView = _ObjectGetProperty(mhProcessAnalyst, "ObjectView");
_ObjectSetProperty(hObjectView, "Visible", 0);

END
```

Fig. 5.31 - Rotina Cicode - Propriedades dos Gráficos

Para finalizar a configuração da aplicação desenvolvida no *Vijeo Citect* falta abordar a definição de todos os parâmetros dos alarmes.

Primeiro importa referir que a apresentação dos alarmes ativos no sumário de alarmes, que se encontra nas páginas principais da aplicação, é conseguida através do comando *AlarmDspLast*. É necessário definir a quantidade de alarmes a apresentar e o tipo de alarmes.

Interessa aqui salientar também que a página do resumo de alarmes e a páginas de gráficos são páginas *popup*. Estas aparecem clicando no respetivo símbolo através do comando *CSV_MM_WinPopup* do *Cicode*. É dada assim a possibilidade ao operador de continuar a controlar o veículo e aceder a outra informação relevante ao mesmo tempo.

Retomando o assunto dos alarmes a apresentar na interface gráfica desenvolvida, estes são:

- *Botoneira de Emergência Pressionada*: este alarme está ativo sempre que uma das botoneiras de emergência está pressionada;
- *Carga das Baterias Baixa*: conjunto de três alarmes que são ativados para cada um dos grupos de baterias de forma independente, quando estes apresentam carga baixa;
- *Inclinação Lateral Máxima*: conjunto de dois alarmes que são ativados quando a inclinação lateral da mesa se encontra perto do seu valor máximo;
- *Limite dos Atuadores*: grupo de alarmes que são ativados independentemente quando um atuador se encontra perto do seu fim de curso.

O *Vijeo Citect* dispõe de algumas formas de configurar alarmes, entre as quais, estão os “alarmes digitais”, os “alarmes analógicos” e os “alarmes avançados”.

Nesta aplicação, para as variáveis digitais foram utilizados os alarmes digitais e para as variáveis analógicas foram utilizados os alarmes avançados, pois estes permitem configurar esses mesmos alarmes de uma forma mais prática e expedita.

Na Fig. 5.32 pode-se observar a configuração de um dos alarmes digitais.

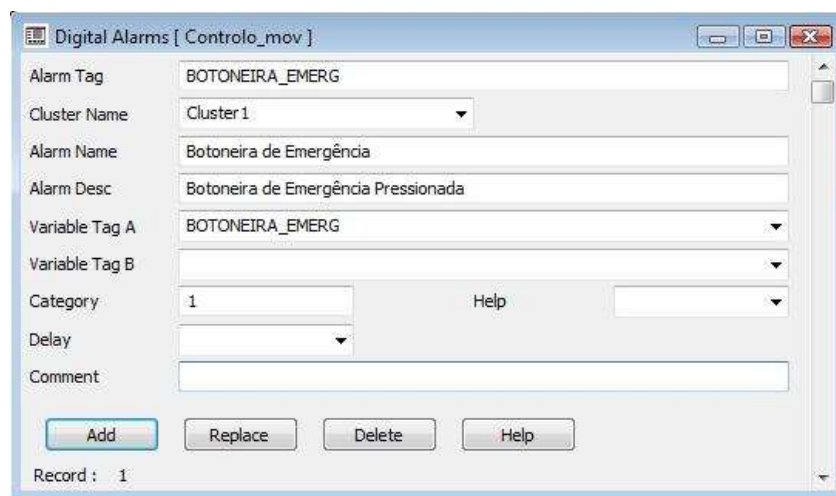


Fig. 5.32 - Configuração de um Alarme Digital no *Vijeo Citect*

Na configuração destes alarmes temos de definir a variável a monitorizar e a mensagem a aparecer quando este alarme estiver ativo. A atribuição do número da categoria está relacionada com os parâmetros a apresentar nos sumários de alarmes e na página de resumo de alarmes e a sua configuração será ainda descrita neste capítulo.

Os alarmes avançados são configurados como se pode observar na Fig. 5.33.

Apesar de nos alarmes avançados ser possível monitorizar variáveis digitais estes só foram usados para monitorizar variáveis analógicas.

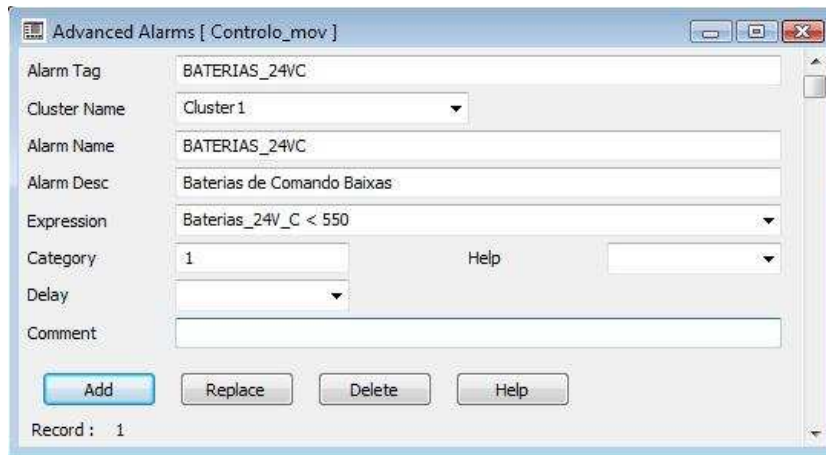


Fig. 5.33 - Configuração de um Alarme Analógico no Vijeo Citect

É preciso definir a variável analógica a monitorizar e a mensagem a aparecer quando o alarme for ativado. A condição de atuação pode ser descrita por uma equação.

O número da categoria foi definido o mesmo que para os alarmes digitais de modo que ambos apareçam com a mesma formatação. Na Fig. 5.34 é possível visualizar a configuração das categorias de alarmes.

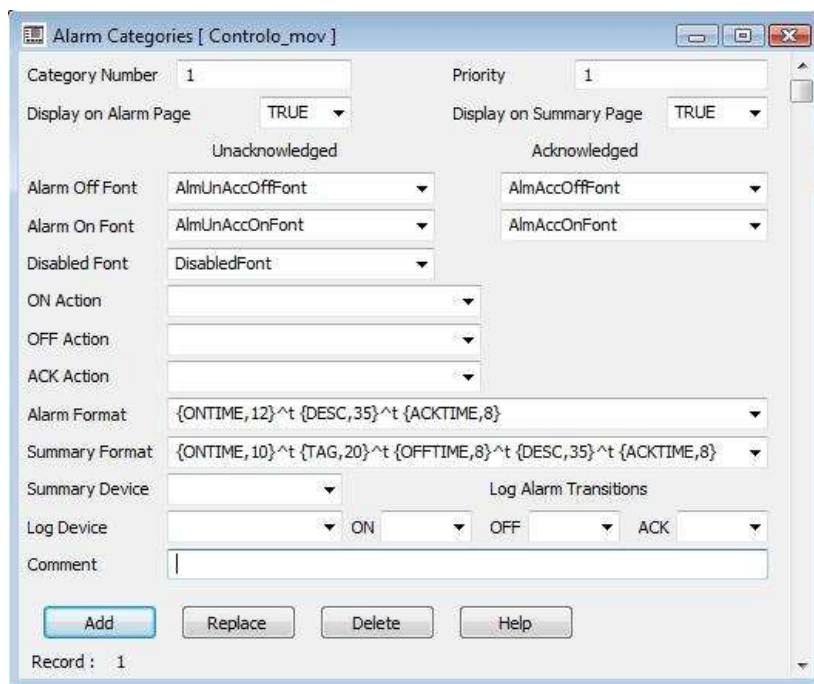


Fig. 5.34 - Configuração da Categoria de Alarmes no Vijeo Citect

Aqui é possível formatar as fontes e as cores dos vários alarmes, bem como a ordem dos parâmetros a mostrar no sumário dos alarmes e na página de resumo de alarmes. Por exemplo, a ordem definida para aparecerem os valores de um alarme na página de resumo de alarmes será: o instante em que se tornou ativo, o seu nome, o instante em que foi desligado, a sua descrição e o instante em que foi reconhecido pelo operador.

Termina aqui a configuração do *software* de supervisão da Mesa Hidráulica Móvel. Conseguiu-se assim uma interface prática e intuitiva que permite ao operador controlar o protótipo.

6 Testes Efetuados e Procedimentos

Neste capítulo serão descritos os procedimentos de calibração do veículo bem como os testes efetuados.

O processo de calibração deve seguir uma determinada ordem e o operador deve ter conhecimento do procedimento, de modo a poder efetuá-lo corretamente, para não levar a um incorreto funcionamento do veículo.

No final deste capítulo dá-se por terminado todo o desenvolvimento do veículo e de seguida serão retiradas as conclusões de todo o trabalho.

6.1 Processo de Calibração

A calibração dos transdutores dos cilindros de elevação, da articulação e da direção realiza-se avançando e recuando estes atuadores até aos seus limites físicos. Quando o valor não variar durante um período de tempo definido, confirmando que o limite físico foi atingido, esse valor é armazenado como o limite para cada atuador. Com o valor dos limites inferior e superior, guardados para cada transdutor, e sabendo à partida o curso de cada cilindro, é possível controlar cada cilindro por referências de posição sem atingir os seus limites físicos.

O processo de calibração deverá ser executado só quando se detetar, ou suspeitar de, um incorreto funcionamento do veículo devido a má calibração.

De seguida será descrito o processo de calibração dos transdutores potenciométricos presentes no veículo.

Este processo deverá ser conduzido manualmente pelo operador, quando tal for necessário, podendo ser controlado através da página de calibração da aplicação SCADA, referida anteriormente, e deverá seguir os passos descritos de seguida.

6.1.1 Descrição do Processo de Calibração

O primeiro passo do processo de calibração consiste na obtenção do valor dos transdutores para a posição mais avançada dos atuadores de elevação. Premindo o respetivo botão de calibração, é definida a velocidade do motor elétrico e é dada a ordem para os quatro cilindros de elevação avançarem. Quando os cilindros se mantiverem na sua posição máxima durante pelo menos 4 segundos, o valor dos transdutores é armazenado e a velocidade do motor diminuída, ficando a mesa na sua posição de elevação máxima, Fig. 6.1.



Fig. 6.1 - Calibração dos transdutores dos cilindros de elevação (limite superior)

De seguida, deve ser colocado um suporte que segure o veículo pelos apoios que possui por baixo. O operador tem o controlo da descida gradual do veículo, que se processa recuando os quatro cilindros de elevação ao mesmo tempo, e assim que uma perna fique na iminência de ser levantada, ela deixa de poder ser recuada. Isto é feito recorrendo ao valor fornecido pelos transdutores de pressão. Quando a mesa do veículo estiver devidamente apoiada, o operador deve-se certificar que o veículo está estável e que não se desequilibrará quando o processo de calibração individual das pernas começar, Fig. 6.2.



Fig. 6.2 - Descida da mesa hidráulica controlada pelo operador.

A obtenção do limite inferior do transdutor do cilindro de elevação, e dos limites, superior e inferior, dos transdutores dos cilindros da articulação, deverá ser executada de seguida. A ordem será dada pelo operador, e poderá escolher qual a perna que quer calibrar individualmente, podendo assim repetir o procedimento de calibração em alguma perna que achar necessário. Dada a ordem para calibrar uma perna, esta começará a subir, o cilindro de elevação é recuado a uma velocidade definida, e assim que esteja totalmente recuado, e o valor do transdutor não varie durante 4 segundos, esse valor é armazenado como sendo o limite inferior de elevação para esse cilindro, Fig. 6.3.



Fig. 6.3 - Calibração do transdutor do cilindro de elevação (limite inferior)

Inicia-se, logo de seguida, com o cilindro recuado, o processo de calibração do transdutor da articulação. O cilindro da articulação avança e assim que atinja a sua posição máxima, e o valor do transdutor não varie durante 4 segundos, esse valor é armazenado como limite superior desse transdutor, Fig. 6.4.



Fig. 6.4 - Calibração do transdutor do cilindro da articulação (limite superior)

Começa em seguida o recuo do mesmo cilindro até à sua posição máxima de recuo (Fig. 6.5), e quando o valor do transdutor não variar durante 4 segundos, é armazenado o valor do limite inferior do transdutor da articulação.



Fig. 6.5 - Calibração do transdutor do cilindro da articulação (limite inferior)

Inicia-se o processo de recuo da perna até esta entrar em contacto com o solo, altura em que o movimento pára, e o processo de calibração da perna está concluído, Fig. 6.6.



Fig. 6.6 - Descida até contacto com o solo.

Para que o veículo não se desequilibre, as pernas deverão ser calibradas uma de cada vez.

Quando estiverem as quatro pernas calibradas, como já possui referências para os limites dos cilindros, deve subir a mesa, deixando de estar suportada exteriormente.

O processo de calibração da direção é um processo independente, visto não ter a necessidade de estar apoiado. Quando iniciado o veículo começa a virar para a esquerda até atingir o seu limite físico, Fig. 6.7. Assim que o valor lido pelo transdutor não varie durante 4 segundos é armazenado como o limite máximo esquerdo para o transdutor da direção, visto que a essa posição do veículo corresponde à posição de máximo avanço do transdutor.



Fig. 6.7 - Calibração do transdutor da direção (limite máximo esquerdo)

De seguida o veículo começa a virar à direita até atingir o seu limite físico, armazenando o valor do limite máximo esquerdo para o transdutor da direção, Fig. 6.8.



Fig. 6.8 - Calibração do transdutor da direção (limite máximo direito)

Finalizados esses dois movimentos, a mesa vira até atingir o valor médio entre os limites extremos. Se a esse valor não corresponder o correto alinhamento do veículo, o operador poderá ajustar o veículo através da aplicação SCADA (virar à esquerda e à direita), medir o espaçamento com um paquímetro (Fig. 6.9) ou o alinhamento com uma régua, e definir o valor para o “zero” da direção, calibrando assim o valor “zero” da direção manualmente.



Fig. 6.9 - Calibração do transdutor da direção (ajuste manual do valor “zero”)

Concluído o processo de calibração, as páginas de “Controlo Manual” e “Modos de Condução” ficam disponíveis para serem acedidas e o veículo encontra-se disponível a ser utilizado pelo operador.

6.2 Processo de Condução Autónoma

O processo de condução autónoma escolhido passa pela utilização de 8 sensores óticos para o sistema de deteção, distribuídos em quatro suportes, um em cada perna, já descrito na secção 4.2. O sistema de guiamento implementado através de uma fita de cor preta colada no chão permitiu definir um percurso de teste no laboratório.

Pretende-se agora descrever como é que a condução autónoma é realizada, a implicação da distribuição dos sensores com o percurso a seguir, bem como a estratégia implementada tendo em conta a manobrabilidade do veículo.

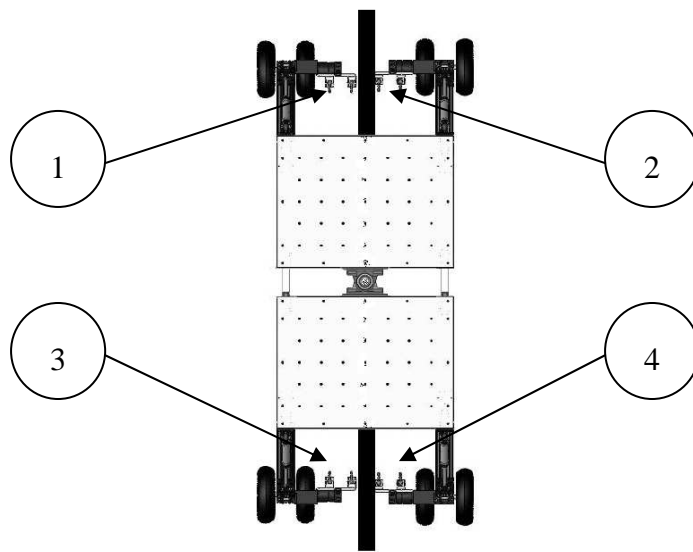


Fig. 6.10 – Veículo a seguir um percurso reto

Na Fig. 6.10 é possível ver a “Mesa Hidráulica Móvel” a seguir um percurso em linha reta. A descrição da distribuição dos sensores no veículo encontra-se na tabela seguinte.

Tabela 6 – Distribuição dos Sensores no protótipo

Nº	Função
1	• Sensores Exterior e Interior da Perna Frente Esquerda
2	• Sensores Exterior e Interior da Perna Frente Direita
3	• Sensores Exterior e Interior da Perna Trás Esquerda
4	• Sensores Exterior e Interior da Perna Trás Direita

O veículo move-se em linha reta até um dos seus sensores interiores ser atuado, dependendo [do](#) sentido em que este se desloque. Se estiver a andar para a frente, o veículo só começará a mudar de direcção caso um dos sensores interior das pernas da frente seja atuado. Caso sejam atuados os dois ao mesmo tempo ou sejam atuados os sensores traseiros isso não provocará qualquer alteração na direcção do veículo.

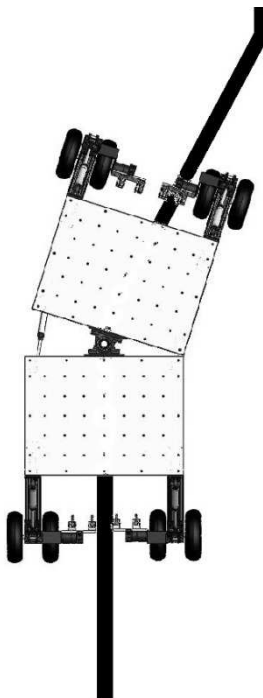


Fig. 6.11 - Veículo a curvar à direita

Assim que se encontre um sensor interior atuado, o veículo prossegue a sua marcha começando a virar para o lado que lhe permita vencer a curva que se está a deparar. Se o raio de curvatura for menor que o do veículo, e se o sensor exterior for atuado durante a marcha, o veículo pára e continua a virar até atingir o seu limite máximo de modo a tentar conseguir

cumprir a trajectória. Caso a direção já se encontre no seu limite máximo (Fig. 6.11), ou entretanto atinja esse limite o veículo inicia a sua manobra de recuo, [como manobra de recurso](#).

A manobra de recuo consiste, [inicialmente](#), em virar a direção até o seu extremo oposto. [De seguida](#), [i](#)nverter o sentido de marcha e parar quando um de dois sensores for atuado. De modo a ser mais perceptível, vamos ter como exemplo o caso de o veículo estar a andar para a frente e se encontrar virado para a direita tendo atingido o seu limite máximo. A manobra de recuo termina quando o sensor interior da perna da frente esquerda ou o sensor exterior da perna de trás direita for atuado.

Terminada esta manobra, a direção [é](#) alinhada até [a](#)os zero graus e o veículo prossegue a sua marcha.

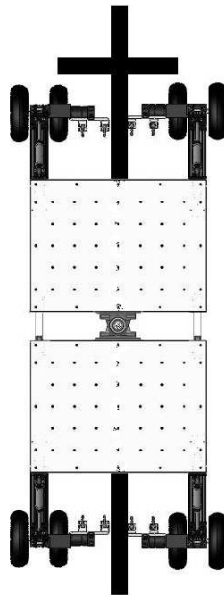


Fig. 6.12 – Aproximação do ponto de paragem do veículo

O modo de condução autónoma pode ser interrompido sempre que for desejado pelo operador na aplicação SCADA, ou quando os quatro sensores da frente, ou de trás, dependendo do sentido em que o veículo se desloque, forem atuados ao mesmo tempo.

7 Conclusões

Finalizado este trabalho pode-se afirmar que se prosseguiu com a evolução do protótipo.

Conseguiram-se efetuar os melhoramentos sugeridos ao nível do sistema elétrico tornando a aquisição de leituras, de alguns transdutores, mais fiável e o veículo mais controlável.

Cumpriu-se o objetivo principal, que consistia na implementação de um modo de condução autónoma, pelo que foi adicionado ao veículo um sistema de guiamento e sensorização adequada para o efeito.

Desenvolveu-se o *software* de controlo responsável pelo controlo de algumas funções que já se encontravam disponíveis na versão anterior, como o controlo da altura da mesa, da inclinação e condução manual. No entanto, foram disponibilizadas novas funções como a calibração do veículo, o controlo de posição em malha fechada dos atuadores, o modo de condução autónoma e o modo de condução remota.

A interface gráfica criada permitiu ao operador o controlo remoto da Mesa Hidráulica Móvel através da tecnologia “sem fios” presente. Foi desenvolvida com o intuito de fornecer toda a informação essencial e tornar o veículo bastante simples de operar.

7.1 Trabalhos Futuros

Concluída a terceira fase de desenvolvimento do veículo, este encontra-se ainda em condições de evolução, visto que foram surgindo ideias no decorrer do trabalho que, devido aos limites temporais existentes, não foram possíveis implementar durante esta fase de desenvolvimento.

Sugere-se então de seguida algumas ideias a implementar numa próxima fase de desenvolvimento:

- Desenvolver um circuito elétrico que permita o carregamento dos três grupos de baterias de uma forma mais simples e em simultâneo;
- Desenvolver no veículo a capacidade de este ultrapassar obstáculos caminhando;
- Dotar o veículo de meios de deteção de obstáculos.

8 Bibliografia

Teixeira, Tiago Filipe Valente. *Mesa Hidráulica Móvel*. Porto, 2009.

Veículos guiados autonomamente. Acedido em:

http://en.wikipedia.org/wiki/Automated_Guided_Vehicle

The Basics of Automatic Guided Vehicle Systems. Acedido em:

<http://www.agvsystems.com/basics/>

Segurança e Navegação dos AGV's. Acedido em: [http://www.ek-](http://www.ek-automation.com/products/automated-guided-vehicles/navigation.html)

[automation.com/products/automated-guided-vehicles/navigation.html](http://www.ek-automation.com/products/automated-guided-vehicles/navigation.html)

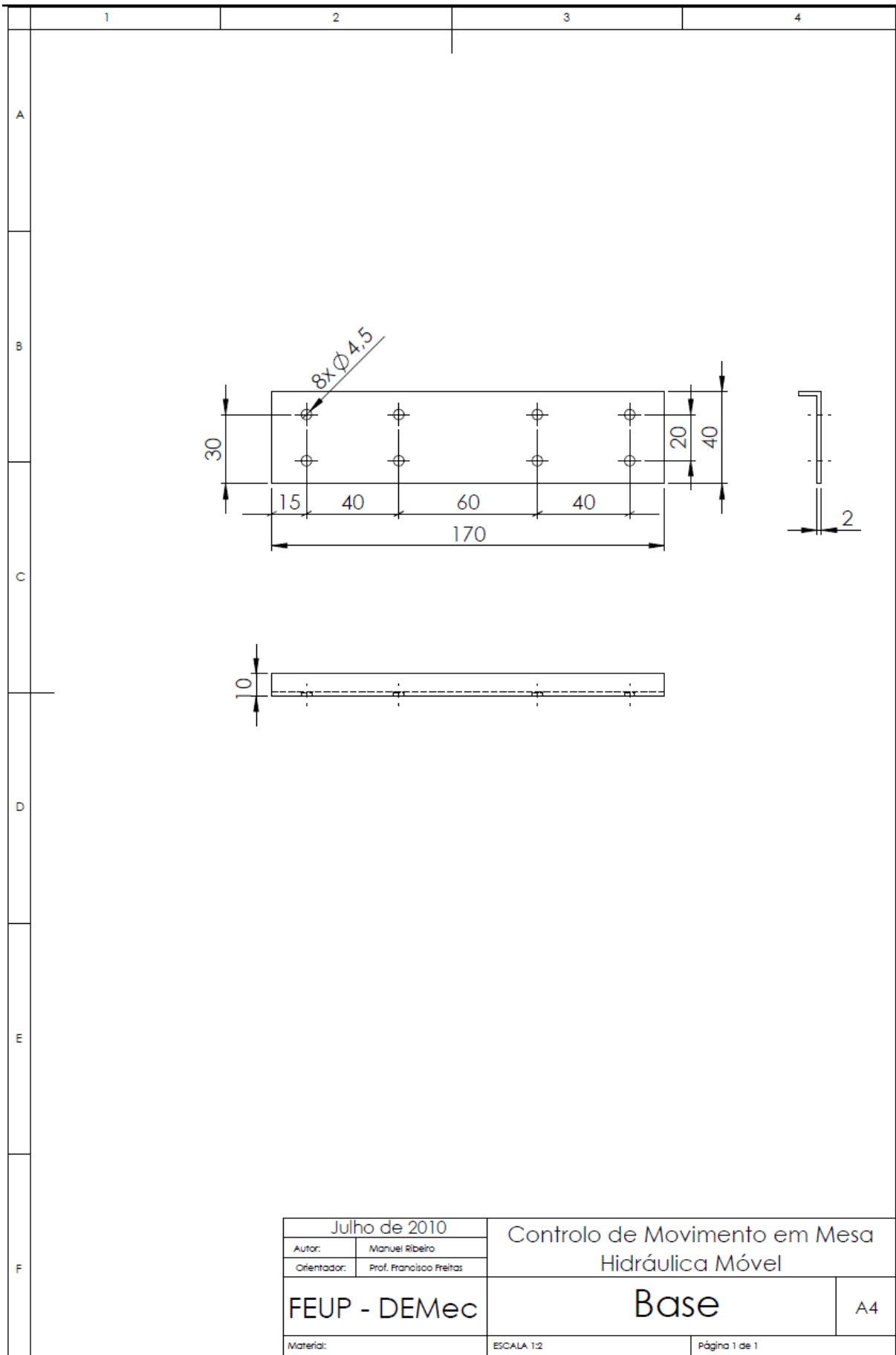
Kinematics of Articulated Steering Mobile Robot. Acedido em:

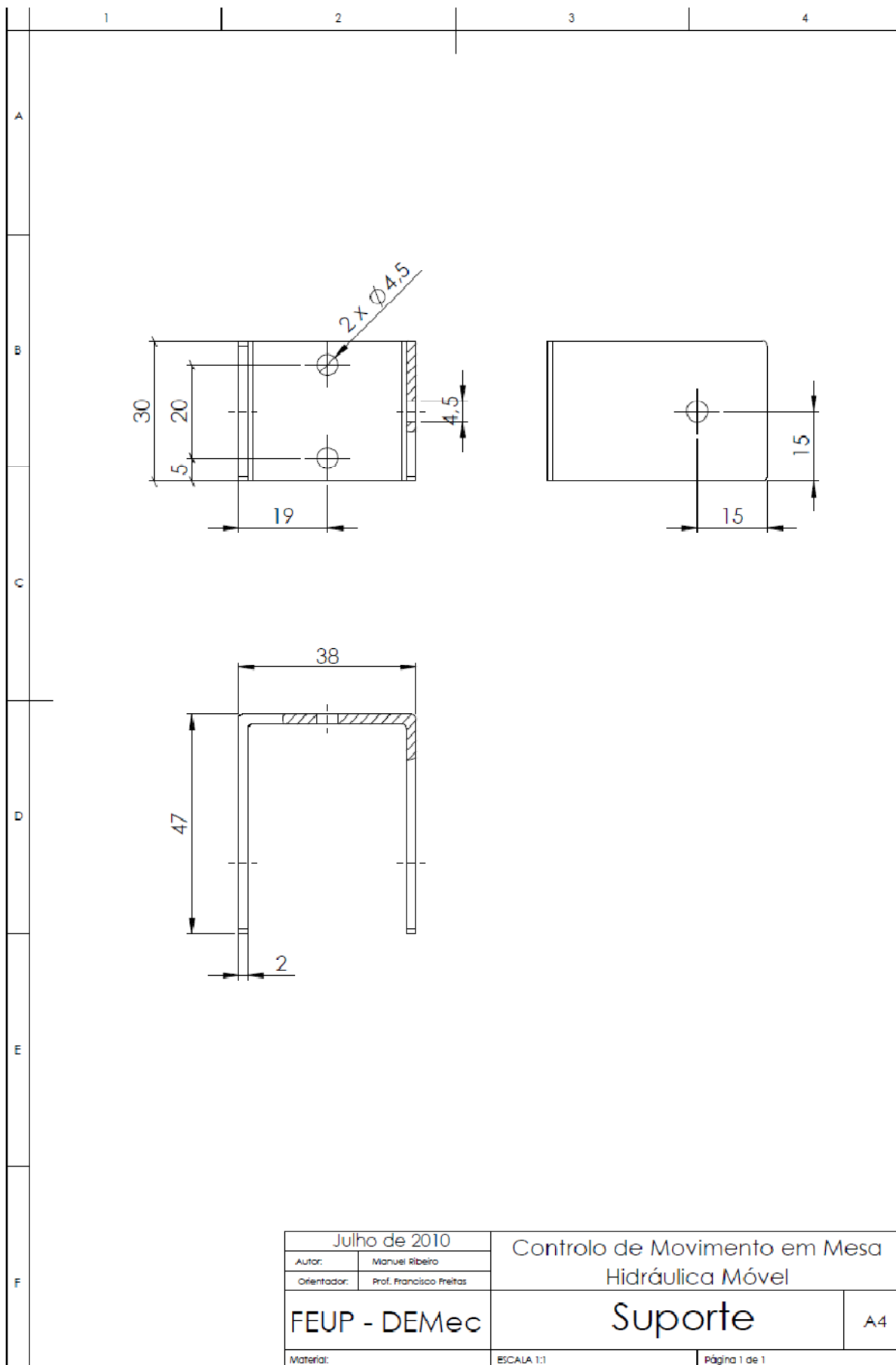
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00928568>

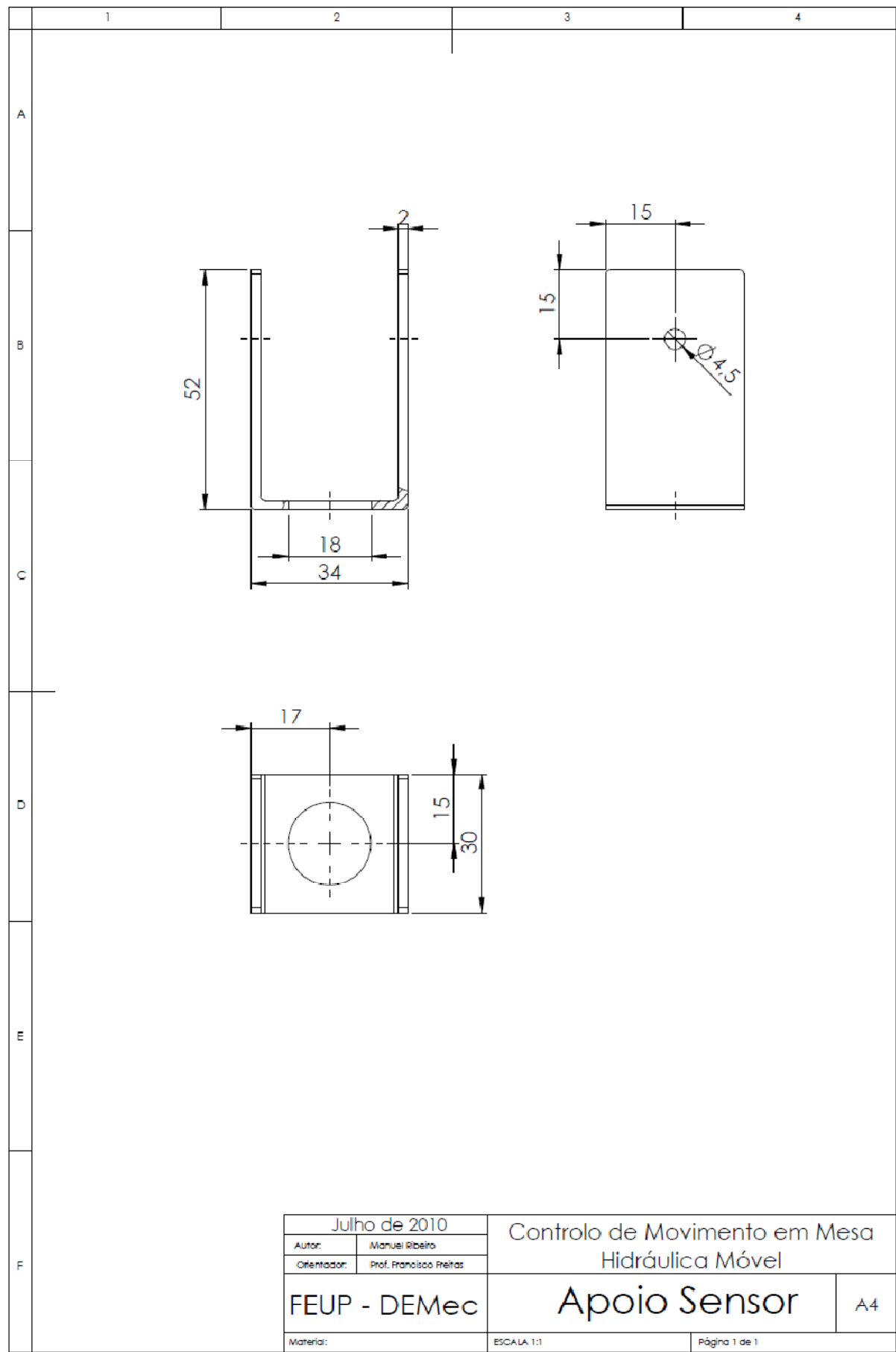
Fonte de Alimentação da Velleman. Acedido em:

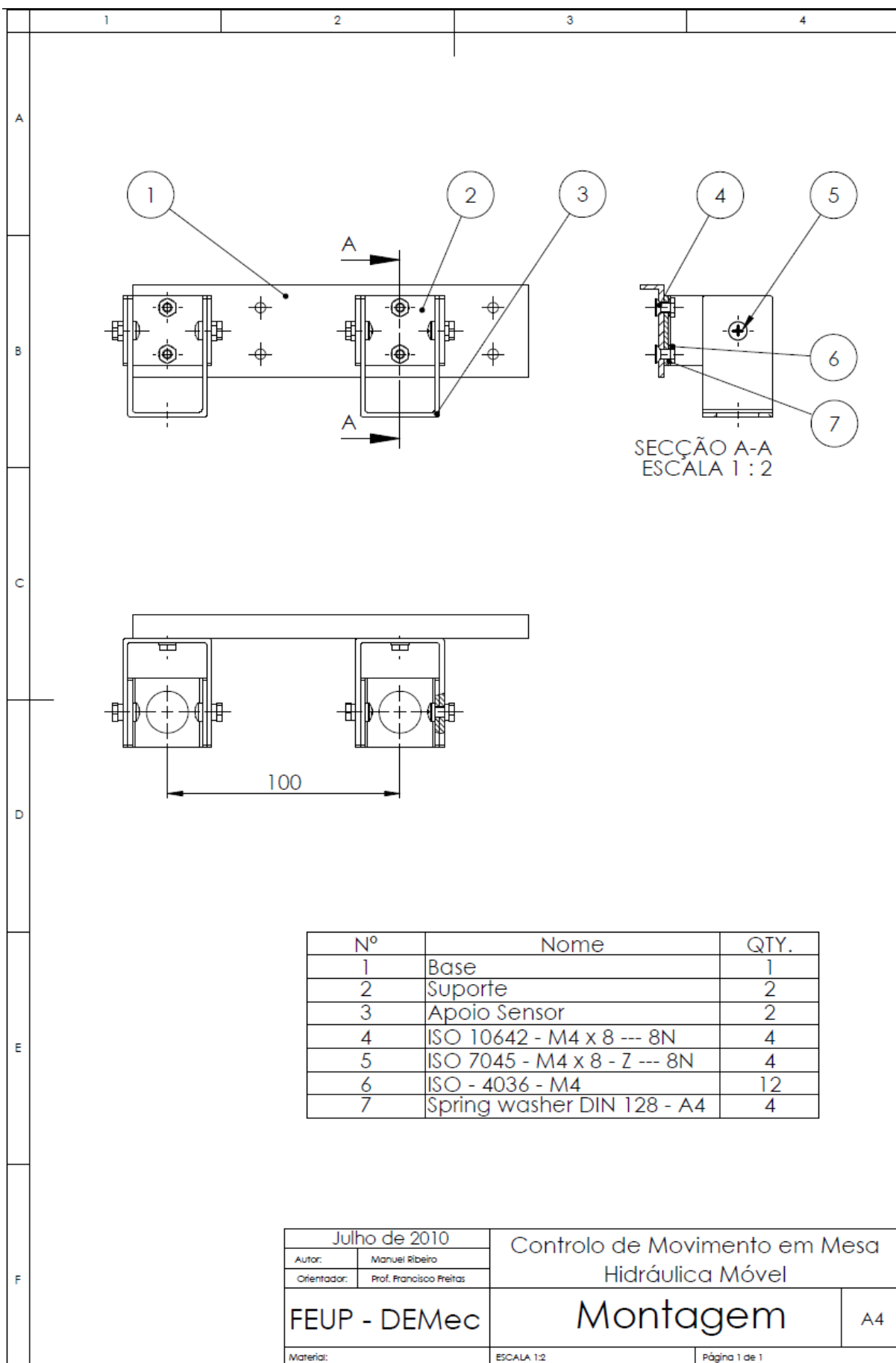
<http://www.velleman.eu/distributor/products/view/?id=353668>

ANEXO A – Desenhos de Construção









ANEXO B – Tabela de Ligações ao Autómato

Módulo	I/O	Função	Ligações
Módulo Base TWID0 TWDLMDA20RT	Alimentação	24 VDC - comando	
		0 VDC	
		terra	
		analogue voltage input connector	
		serial port 1	
	ID0.0		
	ID0.1		
	ID0.2		
	ID0.3	Sensor ótico FD_INT	Laranja
	ID0.4	Sensor ótico FD_EXT	Roxo
	ID0.5	Sensor ótico FE_INT	Azul Claro
	ID0.6	Sensor ótico FE_EXT	Castanho
	ID0.7	Sensor ótico TD_INT	Amarelo
	ID0.8	Sensor ótico TD_EXT	Vermelho
	ID0.9	Sensor ótico TE_INT	Cinzento
	ID0.10	Sensor ótico TE_EXT	Verde
	ID0.11	Botoneira de emergência	Preto
	ID0.comum	0 VDC	
	OD0.0		
	OD0.1		
	OD0 - comum0 (+)		
	OD0 - (-V)		
	NC	NÃO USAR	
	OD0.2	Direção_a	Amarelo/cinzento
	OD0.3	Direção_b	Amarelo/branco
	OD0.4		
	OD0 - comum1 (+)	24 VDC - potência	
	NC	0 VDC	
	OD0.5		
	OD0.6	Contrapressão	Cinzento/branco
	OD0 - comum2 (+)	24 VDC - comando	
	NC	NÃO USAR	
	OD0.7		Rosa/branco
	OD0 - comum3 (+)	Variador freq. (start/stop)	Azul/branco
Mód de Ent/Saídas Analóg TWDAMM3HT MÓDULO 1	OA1 - (+V)	24 VDC - comando	
	OA1 - (0V)	0 VDC	
	OA1 - 0V		
	OA1.0 (H)		Castanho/verde
	OA1.0 (L)	Sinal de comando variador freq.	Castanho/cinzento
	NC	NÃO USAR	
	IA1.0 (H)	Inclinómetro X	Amarelo
	IA1.0 (L)	0 VDC	
	NC	NÃO USAR	
	IA1.1 (H)	Inclinómetro Y	Verde
Mód de 8 Ent Analóg TWDAMI8HT MÓDULO 2	IA2 - (+V)	24 VDC - comando	
	IA2 - (0V)	0 VDC	
	IA2.0	Aquisição do comp. da junta FDE	Vermelho
	IA2.1	Aquisição do comp. da junta FDA	Roxo
	IA2.2	Aquisição do comp. da junta FEE	Cinzento
	IA2.3	Aquisição do comp. da junta FEA	Preto
	IA2 - AGND	0 VDC	
	IA2.4	Aquisição do comp. da junta TDE	Verde
	IA2.5	Aquisição do comp. da junta TDA	Amarelo
	IA2.6	Aquisição do comp. da junta TEE	Branco
Mód de 8 Ent Analóg TWDAMI8HT MÓDULO 3	IA3 - (+V)	24 VDC - comando	
	IA3 - (0V)	0 VDC	
	IA3.0	Carga das baterias 24V comando	Branco
	IA3.1	Carga das baterias 24V potência	Rosa
	IA3.2	Carga das baterias 12V potência	Amarelo
	IA3.3	Transdutor direção	Castanho
	IA3 - AGND	0 VDC	
	IA3.4	Transdutor pressão FD	Castanho/amarelo
	IA3.5	Transdutor pressão FE	Verde/branco
	IA3.6	Transdutor pressão TD	Azul/vermelho
	IA3.7	Transdutor pressão TE	Amarelo/branco

Módulo de 16 saídas digitais por relé TWDDRA16RT	MÓDULO 4	OD4.0	Solenóide FDE_a	Castanho/cinza
		OD4.1	Solenóide FDE_b	Castanho/amarelo
		OD4.2	Solenóide FDA_a	Castanho/rosa
		OD4.3	Solenóide FDA_b	Preto/castanho
		OD4.4	Solenóide FDM_a	Preto/amarelo
		OD4.5	Solenóide FDM_b	Preto/verde
		OD4.6	Solenóide FD Travão	Preto/branco
		OD4.7	Solenóide FD Carga	Verde/castanho
		OD4 - comum0 (+)	24 VDC - potência	
		NC	NÃO USAR	
		OD4.8	Solenóide FEE_a	Verde/cinza
		OD4.9	Solenóide FEE_b	Verde/rosa
		OD4.10	Solenóide FEA_a	Verde/branco
		OD4.11	Solenóide FEA_b	Rosa/cinza
		OD4.12	Solenóide FEM_a	Rosa/amarelo
		OD4.13	Solenóide FEM_b	Rosa/branco
		OD4.14	Solenóide FE Travão	Vermelho/verde
		OD4.15	Solenóide FE Carga	Vermelho/branco
		OD4 - comum1 (+)	24 VDC - potência	
Módulo de 8 saídas digitais por relé TWDDRA8RT	MÓDULO 5	OD5.0	Solenóide TDE_a	Vermelho/castanho
		OD5.1	Solenóide TDE_b	Vermelho/amarelo
		OD5.2	Solenóide TDA_a	Branco
		OD5.3	Solenóide TDA_b	Cinza
		OD5 - comum0(+)	24 VDC - potência	
		NC	NÃO USAR	
		OD5.4	Solenóide TDM_a	Amarelo
		OD5.5	Solenóide TDM_b	Rosa
		OD5.6	Solenóide TD Travão	Azul
		OD5.7	Solenóide TD Carga	Roxo
Módulo de 8 saídas digitais por relé TWDDRA8RT	MÓDULO 6	OD5.0	Solenóide TEE_a	Verde
		OD5.1	Solenóide TEE_b	Preto
		OD5.2	Solenóide TEA_a	Castanho
		OD5.3	Solenóide TEA_b	Vermelho
		OD5 - comum0(+)	24 VDC - potência	
		NC	NÃO USAR	
		OD5.4	Solenóide TEM_a	Azul/verde
		OD5.5	Solenóide TEM_b	Azul/vermelho
		OD5.6	Solenóide TE Travão	Azul/castanho
		OD5.7	Solenóide TE Carga	Azul/amarelo
		OD5 - comum1(+)	24 VDC - potência	

Legenda:

FXX_X ou IXX_X

XD_X ou XEX_X

XXE_X, XXA_X ou XXM_X

XXX_a ou XXX_b

XX_INT ou XX_EXT

Frente ou traseira do protótipo, respectivamente.

Lado direito ou esquerdo respectivamente.

Elevação, articulação e motor, respectivamente.

Solenóide a ou b, respectivamente.

Interior ou Exterior, respectivamente

ANEXO C – Esquemas Elétricos

